



ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ЭНЕРГИЯ-2025

ДВАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДВЕНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

17-19 марта 2025 г.
г. Иваново

ТОМ 1

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

ТЕПЛОЭНЕРGETИКА

«ЭНЕРГИЯ-2025»

ДВАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДВЕНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧ-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

г. Иваново, 17-19 марта 2025 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1

ИВАНОВО

ИГЭУ

2025

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА // Двадцатая всероссийская (двенадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2025»: материалы конференции. В 6 т. Т. 1. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2025. – 140 с.

ISBN 978-5-00062-678-8

ISBN 978-5-00062-674-0(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. **Г.А. ФИЛАТОВА**

Члены оргкомитета по направлению: декан теплоэнергетического факультета, к.т.н., доц. **С.Б. ПЛЕТНИКОВ**; 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 к.т.н., доц. **Е.В. ЗАЙЦЕВА**.

СЕКЦИЯ 1

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель

к.т.н., доцент **Горшенин С. Д.**

Секретарь

д.т.н., доцент **Барочкин А.Е.**

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

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ «ЦЕНТРОЛИТ» В Г. ЛИПЕЦК

Котельная «Центролит» МУП «Липецктеплосеть» расположена в промышленной зоне города Липецк и осуществляет теплоснабжение потребителей сферы ЖКХ в микрорайоне Сырский рудник, до которого проложена тепломагистраль длиной 3 км. Установленная тепловая мощность котельной составляет 107,8 Гкал/ч.

Оборудование котельной эксплуатируется более 50 лет, из-за чего морально и физически изношено. Тепломагистраль от котельной до отапливаемого района жилой застройки требует ремонта. Подключенная нагрузка котельной в 2 раза меньше её мощности. В связи с этим встаёт вопрос о закрытии котельной «Центролит».

Разработаны два варианта закрытия котельной «Центролит» с последующим переключением тепловой нагрузки на другие источники тепловой энергии :

- вариант №1 предполагает строительство новой БМК «Центролит» с врезкой в существующую квартальную тепловую сеть без использования существующих магистральных трубопроводов;

- вариант №2 предполагает переключение нагрузки потребителей на котельную «Юго-Западная» филиал АО «Квадра» «Липецкая генерация».

В обоих вариантах вывод из эксплуатации котельной «Центролит» запланирован на 2029 год.

Для переключения потребителей котельной «Центролит» на котельную «Юго-Западная» потребуются строительство тепловой сети длиной 2,2 км и насосной станции на территории котельной «Юго-Западная» производительностью 1140 м³/ч.

Общая стоимость переключения нагрузки котельной «Центролит» на котельную «Юго-Западная» в Варианте № 2 составляет 509,5 млн. руб с НДС в прогнозных ценах, а переключение на новую БМК «Центролит» в Варианте № 1 оценивается в 297,8 млн. руб. с НДС в прогнозных ценах. Т.е. стоимость реализации переключения нагрузки котельной «Центролит» по Варианту № 2 на 71 % дороже стоимости переключения по Варианту № 1.

На данном основании можно сделать вывод, что Вариант №1 обладает лучшими показателями эффективности и рекомендуется к реализации.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОГО УЗЛА В Г.ОРЕНБУРГ

Сакмарская ТЭЦ расположена в северной части Дзержинского района г. Оренбург. Станция имеет установленную электрическую мощность - 460 МВт и тепловую мощность – 1 576 Гкал/ч. Основное топливо – природный газ Оренбургского месторождения, резервное топливо – мазут марки М-100.

В ходе анализа параметров работы оборудования ТЭЦ и котельных, было установлено, что основными причинами, снижающими экономичность и эффективность работы всей системы централизованного теплоснабжения г. Оренбург, являются:

- отсутствие крупных промышленных потребителей, потребляющих тепловую энергию с горячей водой и паром от ТЭЦ, что обуславливает резкое снижение тепловой нагрузки ТЭЦ в неотапительный период и вызывает ухудшение эффективности работы теплофикационного оборудования ТЭЦ;
- большое количество небольших водогрейных котельных, отпускающих тепло потребителям в сфере ЖКХ г. Оренбург, что вызывает увеличение совокупной стоимости производства и транспортировки тепловой энергии до конечного потребителя.

Основные решаемые задачи режимно-структурной оптимизации:

- определение оптимального количества источников централизованного теплоснабжения для покрытия существующих и перспективных тепловых нагрузок потребителей в г. Оренбург;
- определение оптимального состава оборудования Сакмарской ТЭЦ;
- определение оптимальных режимов загрузки оборудования Сакмарской ТЭЦ.

Из анализа структуры централизованного теплоснабжения в г. Оренбург были разработаны 4 варианта развития, предполагающие закрытие существующих котельных и переключение их потребителей на Сакмарскую ТЭЦ.

Далее для каждого варианта были выполнены расчеты: перспективных технико-экономических показателей работы Сакмарской ТЭЦ и котельных, необходимых капитальных затрат для реализации запланированных мероприятий, финансово-экономических показателей работы филиала "Оренбургский" ПАО "Т Плюс".

В качестве наиболее эффективного выбран вариант № 3, поскольку он обладает наименьшими сроками окупаемости.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ КИРОВСКОЙ ТЭЦ-3

Кировская ТЭЦ-3 - тепловая электростанция в составе Кировского филиала ПАО «Т Плюс», расположенная в городе Кирово-Чепецке Кировской области. ТЭЦ-3 имеет установленную электрическую мощность 236 МВт, а тепловую – 536 Гкал/ч. Основным топливом является природный газ. Вспомогательное топливо - мазут, торф, уголь.

Испытания по определению тепловых потерь проводились на трубопроводах по направлению ТЭЦ-3 – 7НО-9 – ПАВ-2 – ТК 10-13 от подающего коллектора ТЭЦ-3 до ТК 10-13 с диаметрами трубопроводов 700 - 600 мм, включающий участки надземной и подземной прокладок. В результате испытаний определены фактические тепловые потери через тепловую изоляцию тепловых сетей, находящихся на балансе ОАО «КТК» от ТЭЦ-3.

По результатам тепловых испытаний определены итоговые поправочные коэффициенты к нормам тепловых потерь:

- по надземной прокладке, спроектированной до 1989 г., $k_{\text{под}} = 1,525$ для подающего трубопровода; $k_{\text{обр}} = 1,323$ для обратного трубопровода;
- по подземной прокладке, спроектированной до 1989 г.: $k = 1,149$.

Согласно информационному письму Минэнерго России от 28.12.2009 г. «О повышении качества подготовки расчетов и обоснования нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии» установлены предельные значения поправочных коэффициентов: 1,2 для подземной прокладки и 1,6 для надземной прокладки.

По результатам гидравлических испытаний определены усредненные эквивалентные шероховатости для трубопроводов со сроком службы более 20 лет:

- подающий трубопровод $K_3 = 11,35$ мм;
- обратный трубопровод $K_3 = 10,64$ мм.

Результаты испытаний магистральных трубопроводов от Кировской ТЭЦ – 3 по определению эксплуатационных гидравлических характеристик показывают, что полученные значения K_3 не превышают среднестатистические значения этих коэффициентов для соответствующих диаметров трубопроводов и сроков их эксплуатации.

*П.Д. Пиенникова, студ.; рук. А.Е. Барочкин, д.т.н., доц
(ИГЭУ, Иваново)*

ПЕРЕХОД НА ЗАКРЫТУЮ СХЕМУ ГВС ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В Г. ТУЛА

В г. Тула по состоянию на 2024 год порядка 471 домов подключены по открытой схемой ГВС в системах теплоснабжения следующих источников: котельная «Ф.Р.К.»; котельная «З.Р.К.»; котельная «п. Рассвет».

Организация горячего водоснабжения по закрытой схеме в зоне действия источников тепловой энергии может быть осуществлена двумя способами: применение центральных тепловых пунктов; установка теплообменников ГВС непосредственно в зданиях (индивидуальные тепловые пункты).

Для перехода на закрытую схему ГВС в данной работе в соответствии с СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» в зависимости от соотношения максимально-часовой тепловой нагрузки ГВС к нагрузке отопления предлагается оборудовать тепловые пункты абонентов одноступенчатыми (потребители малоэтажной застройки с незначительной тепловой нагрузкой ГВС), либо двухступенчатыми подогревателями ГВС (потребители многоквартирных домов). Применение новых ЦТП для организации закрытой схемы ГВС в кварталах сложившейся застройки не рассматривается в связи с рядом технических проблем.

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

При формировании предложений по переходу на закрытую схему ГВС предлагается при сохранении существующей схемы присоединения систем отопления абонентов, осуществлять подачу горячей воды через пластинчатые водо-водяные подогреватели.

Общие потребности в инвестициях по переводу потребителей на закрытую схему ГВС оцениваются в 895,523 млн. руб. с НДС в ценах 2024 года: Котельная «Ф.Р.К.» – 325,221 млн. руб.; Котельная «З.Р.К.» – 438,680 млн. руб.; Котельная «п. Рассвет» – 131,622 млн. руб.

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 18,71 лет, дисконтированный – 32,3 лет. Ввиду больших сроков окупаемости проект не может быть рекомендован к реализации.

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ БЛОКОВ № 1,2 КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Калининская АЭС расположена на севере Тверской области, близ города Удомля и на берегу одноимённого озера. Станция состоит из четырёх энергоблоков типа ВВЭР-1000 общей мощностью 4 ГВт.

Система технического водоснабжения КАЭС состоит из дизель-генераторов собственных нужд, насосов технической воды ответственных потребителей, выполненных по программе ступенчатого спуска (АСП) и бака аварийного запаса технической воды, предназначенного для обеспечения охлаждения потребителей СБ реакторного отделения и РДЭС технической водой и исключения завоздушивания системы при обесточивании секций электроснабжения собственных нужд.

Опыт эксплуатации энергоблоков ВВЭР-1000 показал, что в режимах опробования каналов системы безопасности при переходных процессах отключения и последующего разворота насоса технической воды от РДЭС имели место случаи неплотного закрытия обратных клапанов на трубопроводах бака аварийного запаса технической воды из-за отложения шламов на тарелках клапанов. Данный отказ приводит к переполнению баков, и опасному заливу ниже расположенных электротехнических помещений.

Результаты расчетов и комплексных испытаний оборудования показали возможности модернизации системы:

1) Исключение баков аварийного запаса технической воды никак не повлияет на работу технического водоснабжения ответственных потребителей в режимах нормальной эксплуатации и при аварии, при этом по результатам испытаний установлено, что объём воды в трубопроводах технического водоснабжения в 4 раза превосходит расход технической воды в системе в течение времени от обесточивания насосов ОТН до полного восстановления водоснабжения при АСП.

2) Изменение алгоритмов включения насосов технической воды при АСП не превысит допустимые нагрузки на дизель-генераторы, что было подтверждено в ходе комплексных испытаний.

Можно сделать вывод, что целесообразно исключить из технологической схемы баки аварийного запаса технической воды ответственных потребителей и изменить алгоритм включения насосов по АСП на блоках № 1,2 Калининской АЭС.

*В.Д. Неделькина, студ.; рук. А.Е. Барочкин, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ КИРОВСКОЙ ТЭЦ-5

Кировская ТЭЦ-5 является крупнейшей в Кировской области теплоэлектроцентралью, расположенной в Ленинском районе города Кирова. Предприятие входит в состав Кировского филиала ПАО «Т Плюс». ТЭЦ-5 имеет установленную электрическую мощность 450 МВт, а тепловую – 1090 Гкал/ч.

Испытания проводились с целью определения фактических гидравлических и тепловых потерь в тепловых сетях ТЭЦ-5. Испытывались 2 участка: участок по направлению ТЭЦ-5 – Пав. 2 с диаметрами трубопроводов 600-1000 мм; участок по направлению УТ 274.1 – УТ-15 с диаметрами трубопроводов 400-800 мм.

В результате испытаний определены тепловые и гидравлические потери для каждого из участков испытываемого кольца отдельно по подающей и обратной линиям.

По результатам тепловых испытаний определены итоговые поправочные коэффициенты к нормам тепловых потерь:

- по надземной прокладке, спроектированной до 1989 г., $k_{\text{под}} = 1,379$ для подающего трубопровода; $k_{\text{обр}} = 1,402$ для обратного трубопровода;

- по подземной прокладке, спроектированной до 1989 г.: $k = 1,373$.

Согласно информационному письму Минэнерго России от 28.12.2009 г. «О повышении качества подготовки расчетов и обоснования нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии» установлены предельные значения поправочных коэффициентов: 1,2 для подземной прокладки и 1,6 для надземной прокладки. Поэтому выполнена корректировка полученного значения для подземной прокладки: вместо $k = 1,373$ принято $k = 1,2$.

По результатам гидравлических испытаний определены усредненные эквивалентные шероховатости для трубопроводов со сроком службы более 20 лет:

- подающий трубопровод $K_3 = 12,225$ мм;

- обратный трубопровод $K_3 = 9,455$ мм.

Результаты испытаний магистральных трубопроводов от Кировской ТЭЦ – 5 по определению эксплуатационных гидравлических характеристик показывают, что полученные значения K_3 не превышают среднестатистические значения этих коэффициентов для соответствующих диаметров трубопроводов и сроков их эксплуатации.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ КИРОВСКОЙ ТЭЦ-4

Кировская ТЭЦ-4 тепловая электростанция в составе ТГК-5. Крупнейшая электростанция Кировской области по тепловой мощности. Крупнейшая электростанция России, использующая (на некоторых энергоблоках) торф в качестве основного топлива. Установленная электрическая мощность — 243 МВт, а тепловая мощность — 1372 Гкал/ч.

Испытания по определению тепловых потерь проводились на трубопроводах по направлению ТЭЦ-4 – ЮВ-ОП – ЮВ-30 – ЮВ-5, от подающего коллектора ТЭЦ-4 до ЮВ-5 с диаметрами трубопроводов 900 – 1000 мм, включающий участки надземной и подземной прокладок. Длина испытанного участка в двухтрубном исполнении составляет 6508,4 м.

участок №2 по направлению ТЭЦ-4 – ТК-13 (ПАВ.2) от подающего коллектора ТЭЦ-4 до ТК-13 (ПАВ.2) с диаметрами трубопроводов 500 мм, включающий участки надземной прокладки. Длина испытанного участка в двухтрубном исполнении составляет 10448,8 м.

По результатам тепловых испытаний определены итоговые поправочные коэффициенты к нормам тепловых потерь:

- по надземной прокладке, спроектированной до 1989 г., $k_{\text{под}} = 1,387$ для подающего трубопровода; $k_{\text{обр}} = 1,4$ для обратного трубопровода;
- по подземной прокладке, спроектированной до 1989 г.: $k = 1,295$.

Согласно информационному письму Минэнерго России от 28.12.2009 г. «О повышении качества подготовки расчетов и обоснования нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии» установлены предельные значения поправочных коэффициентов: 1,2 для подземной прокладки и 1,6 для надземной прокладки.

По результатам гидравлических испытаний определены усредненные эквивалентные шероховатости для трубопроводов со сроком службы более 20 лет:

- подающий трубопровод $K_3 = 10,71$ мм;
- обратный трубопровод $K_3 = 9,05$ мм.

Результаты испытаний магистральных трубопроводов от Кировской ТЭЦ – 4 по определению эксплуатационных гидравлических характеристик показывают, что полученные значения K_3 не превышают среднестатистические значения этих коэффициентов для соответствующих диаметров трубопроводов и сроков их эксплуатации.

*Е.В. Летков, студ.; рук. Е.В. Барочкин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ТУЛЬСКУЮ ТЭЦ-ПВС АО "КМЗ"

Одной из ключевых проблем, с которыми сталкиваются действующие ТЭЦ, является сокращение тепловой нагрузки со стороны потребителей. Это происходит из-за отключения промышленных потребителей и снижения теплопотребления в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Указанные факторы негативно влияют на эффективность функционирования теплофикационного оборудования, так как приводят к увеличению объема конденсационной выработки электрической энергии. В данной ситуации основная стратегия увеличения тепловой нагрузки ТЭЦ заключается в переключении потребителей водогрейных котельных на тепловую сеть. Данный подход рассмотрен на примере Тульской ТЭЦ-ПВС АО "КМЗ". Данная ТЭЦ-ПВС имеет установленную тепловую мощность 307 Гкал/ч, установленную электрическую мощность 24 МВт, присоединенная договорная тепловая нагрузка в горячей воде 81,5 Гкал/ч. Для повышения тепловой нагрузки был рассмотрен вариант закрытия пяти котельных в зоне эффективного теплоснабжения ТЭЦ-ПВС. В результате договорная тепловая нагрузка потребителей горячей воды возрастет до 113,41 Гкал/ч.

Для этого потребуется выполнить реконструкция существующих тепломагистралей от ТЭЦ-ПВС общей длиной 5,3 км в двухтрубном исполнении; строительство новых тепловых сетей от существующих тепломагистралей ТЭЦ-ПВС к закрываемым котельным общей длиной 1,0 км в двухтрубном исполнении. Температурный режим работы тепломагистрали ТЭЦ-ПВС, к которой планируется подключение закрываемых котельных, составляет 110/70 °С. Проектный температурный график для 4 из 5 закрываемых котельных – 95/70 °С. Из-за этого потребуется построить 4 ЦТП и 1 НС. Поскольку даже с учетом выполнения мероприятий по устранению ограничений тепловой мощности ТЭЦ-ПВС резерв тепловой мощности станции в горячей воде снизится до 16 % от установленной мощности, могут потребоваться дополнительные меры по увеличению доступной тепловой мощности ТЭЦ-ПВС за счет установки новых водогрейных котлов. Однако даже уже запланированные мероприятия потребуют капиталовложений в размере 1,2 млрд рублей с НДС. Ввиду высокой стоимости проекта простой срок окупаемости составляет 15,6 лет, дисконтированный срок окупаемости 23,5 года. Из-за низких показателей эффективности данный проект признан неэффективным.

А.А. Веренин, асп.; рук. С.И. Шувалов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕПАРАТОРОВ

Для разделения зернистых материалов по размерам частиц используются сепараторы различных конструкций. Основной характеристикой их является кривая разделения φ_δ , позволяющая по дисперсному составу поступающего в сепаратор материала рассчитать количество и дисперсные составы продуктов разделения [1]. Для аппроксимации кривой разделения наиболее удачной является формула Плитта в виде

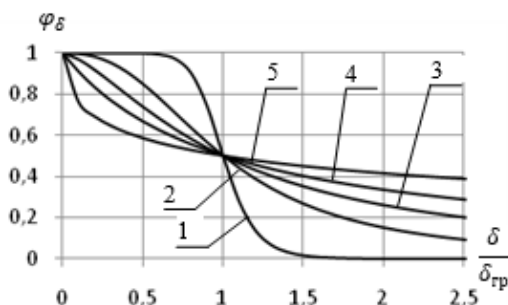


Рис.1. Зависимость кривой разделения от параметра ks

1 - $ks = 10$; 2 - $ks = 2,5$; 3 - $ks = 1,5$;
4 - $ks = 1$; 5 - $ks = 0,5$

$$\varphi_\delta = \frac{1}{1 + \left(\frac{\delta}{\delta_{гр}}\right)^{ks}},$$

где $\delta, \delta_{гр}$ - текущий и характерный размеры частиц зернистого материала; ks - параметр эффективности разделения сепаратора. Величина ks в зависимости от конструкции сепаратора, а величина $\delta_{гр}$ изменяется при настройке сепаратора на режим

работы. На рис.1 показан вид кривых разделения для нескольких значений ks .

Для некоторых конструкций сепараторов в [2] указаны значения ks , которые являются максимальными для данной конструкции в определенном диапазоне изменения режимных параметров.

При анализе процессов разделения определены диапазоны изменения величин $\delta_0, \delta_{гр}$ и m , при выходе за пределы которых эффективность разделения сепараторов снижается.

Библиографический список

1. Мизонов В.Е., Ушаков С.Г. Аэродинамическая классификация порошков. - М.: Химия, 1989. - 160 с.
2. Шувалов С.И. Получение тонкодисперсных порошков в системах пылеприготовления с аэродинамическими классификаторами // Химическая промышленность, 1992, №8, с.499-503

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРБИНЫ К-1000-5,9/50

Предпосылкой к модернизации системы автоматического регулирования и защиты турбоагрегата №4 Калининской АЭС являлась нестабильность работы САРЗ из-за сбоев в работе системы, возникающих вследствие повышенной вибрации оборудования и маслопроводов системы регулирования, пульсацией давления масла. Это вызывало автоколебания регулирующих клапанов и, соответственно, вырабатываемой мощности.

Целью модернизации является обеспечение стабильности процессов в системе регулирования, устойчивое позиционирование органов парораспределения, обеспечивающее стабильность несения нагрузки.

Пульсации давления возникали в гидравлических линиях управления отсечными золотниками (ОЗ), поэтому требовался их демонтаж. Демонтируется электрогидравлический преобразователь ЭГП-С и ограничитель давления (ОД), которые формировали управляющий сигнал (управляющее давление) к ОЗ сервомоторов и именно они вызывали возникновение автоколебаний давления. Демонтируются гидравлические линии управления ЭГП-С и стабилизированного давления, а так же механические обратные связи на сервомоторах.

При модернизации монтируются электрические линии управляющего сигнала и электромеханические преобразователи (ЭМП) прямого действия для управления ОЗ.

Командный сигнал при изменении частоты вращения ротора формируется в электронном блоке регулятора скорости электрической части системы регулирования (ЭЧСР). Для передачи в гидравлическую часть системы регулирования сигналов с ЭЧСР, управляющих сервомоторами регулирующих и сбросных клапанов, клапана греющего пара, на отсечные золотники устанавливаются электромеханические преобразователи (ЭМП): четыре - для управления сервомоторами РК ЦВД, четыре - для управления сервомоторами РК ЦНД и СБК, и один - для управления сервомотором клапана греющего пара. ЭМП при поступлении команды перемещает буксу отсечного золотника, что приводит в действие сервомотор, регулирующий подачу пара.

Модернизация САРЗ обеспечивает высокое качество регулирования частоты и устойчивое поддержание активной мощности турбины.

**М.Н. Белов, студ.; рук. С.А. Панков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Одной из основных задач при создании и эксплуатации нового оборудования и при модернизации действующего оборудования является обеспечение высокой вибрационной надежности турбомашин.

Наиболее нагруженными элементами в конструкции турбины являются рабочие лопатки, поэтому они являются и самыми повреждаемыми элементами в конструкции турбины.

Одной из основных причин усталостных поломок лопаток являются резонансные колебания, которые возникают при совпадении собственных частот лопаток с частотами возмущающих аэродинамических сил потока пара. Для того чтобы установить, возможен ли резонанс, необходимо знать собственные частоты лопаток, и частоты возмущающих сил.

Система контроля вибрации лопаток (СКВЛ) должна отслеживать вибрационное состояние рабочих лопаток последних ступеней цилиндров низкого давления (ЦНД) турбоагрегата К-1000-5,9/50 Калининской АЭС. СКВЛ замеряет среднеквадратические отклонения амплитуд колебаний лопаток, ведет запись процесса колебаний и обработку записанных данных для отображения на мониторе ССД.

Замер колебаний лопаток должен осуществляться следующим образом: в бандажные полки рабочих лопаток последних ступеней ЦНД устанавливаются специальные магниты в немагнитных корпусах; в козырьки диафрагм последней ступени устанавливаются периферийные датчики; на диск рабочего колеса устанавливают датчик оборотов.

При вращении ротора турбины бандажные полки лопаток с расположенными в них магнитами проходят мимо последовательно расположенных пар периферийных датчиков и с помощью регистрирующей и анализирующей аппаратуры определяются исходные состояния между двумя датчиками каждой из пар. Изменение показаний любой одной пары периферийных датчиков на протяжении нескольких оборотов используется для определения амплитуд автоколебаний лопаток. В СКВЛ используется дискретно-фазовый метод измерения, который должен позволить оценить характер виброперемещений отдельных лопаток относительно ротора.

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

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Энергетическая отрасль является основой развития экономики России. Темпы роста промышленного производства напрямую связаны с уровнем развития энергетики. Одним из направлений развития отрасли является обеспечение бесперебойной работы энергетического оборудования.

В настоящее время большинство теплоэнергетических предприятий, эксплуатирующих теплообменные аппараты сталкиваются с такими проблемами, как:

- интенсификация коррозионных процессов;
- образование на теплообменных поверхностях различных отложений.

По месту расположения коррозионные разрушения можно разделить на три основные группы:

- Коррозия в местах соединения теплообменных трубок и трубных досок;
- Язвенная коррозия (по всей длине трубок);
- Коррозионно-эрозионное повреждение внутренней поверхности теплообменных трубок на входных и выходных участках.

В зависимости от назначения теплообменного аппарата отложения могут быть: механические, биологические, накипные.

Неисправности в кожухотрубных теплообменниках могут быть вызваны несоблюдением эксплуатационных требований или несвоевременным проведением профилактических работ.

Все это приводит к снижению эффективности работы теплообменного оборудования. Для сохранения производительности оборудования необходимо соблюдать правила эксплуатации, оптимальный водно-химический режим и проводить периодически чистку теплообменных поверхностей.

Библиографический список

1. **Байгалиев, Б.Е.** Теплообменные аппараты: учебное пособие / Б.Е. Байгалиев, А.В. Щелчков, А.Б. Яковлев, П.Ю. Гортышев. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – 180 с.
2. **Болотова, Ю.В.,** Ручкина О.И. Коррозия теплообменного оборудования нефтехимических производств // Вестник ПНИПУ. - 2015. - Т. 17, № 4. -С. 102-119. DOI: 10.15593/2224-9877/2015.4.08

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

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ДНР

Донецкая Народная Республика (ДНР) входит в состав Российской Федерации и занимает площадь около 26 500 кв. км. Республика имеет население около 2,3 млн человек, из которых около 60% проживает в городах.

Централизованное теплоснабжение в ДНР осуществляется 4 теплоэлектростанциями (ТЭС) и 1051 котельными, которые обеспечивают теплом жилые дома, общественные здания и промышленные предприятия. Общая протяженность тепловых сетей в республике составляет около 3 000 км. Всего в ДНР 7 теплоснабжающих организаций, которые осуществляют централизованное теплоснабжение. Основная организация – ГУП ДНР «Донбасстеплоэнерго».

К основным проблемам в организации централизованного теплоснабжения относятся:

- износ тепловых сетей (примерно 50% от общей длины тепловых сетей);
- износ оборудования (57% от общего числа котлов на котельных);
- низкая загрузка оборудования (средняя загрузка оборудования составляет около 21%);
- наличие подвальных и встроенных котельных.

Пути решения данных проблем заключается в:

- увеличение ежегодного объема перекладки магистральных и квартальных тепловых сетей до 5 % к 2030 году;
- реконструкция оборудования котельных и строительство новых котельных взамен существующих;
- строительство до 2027 г. новых БМК взамен 56 подвальных и встроенных котельных;
- при реконструкции и новому строительству котельных предлагается изменение тепловой мощности исходя из текущей тепловой нагрузки.

Для решения приведенных проблем потребуется около 40 млрд. рублей для реконструкцию источников тепловой энергии и 70 млрд. рублей для ремонта тепловых сетей.

*Д.П. Селиверстов, студ.; рук. Е.С. Ставровский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ: ИНТЕГРАЦИЯ IT-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Современные проектные решения в энергетическом секторе демонстрируют значительный потенциал повышения эффективности благодаря интеграции информационных технологий. В данной работе студента Селиверстова Д.П. рассматриваются практические аспекты внедрения IT-решений, обеспечивающих существенное повышение экономических показателей энергетических объектов.

В сфере энергетики внедрение современных проектных решений позволило достичь значительного снижения потерь при передаче электроэнергии. Применение интеллектуальных систем мониторинга и управления сетями способствовало сокращению технологических потерь на 15-20% по сравнению с традиционными системами. Внедрение современных накопителей энергии с эффективностью преобразования более 90% позволяет оптимизировать нагрузку на сеть и снизить эксплуатационные затраты на 25%.

Интеграция искусственного интеллекта в системы управления энергетическими объектами обеспечивает повышение экономической эффективности за счет оптимизации режимов работы оборудования. Автоматизированные системы прогнозирования и управления нагрузкой позволяют снизить удельный расход топлива на 8-12% при производстве электроэнергии.

В заключение следует отметить, что внедрение современных проектных IT-решений в энергетический сектор создает значительный экономический эффект, способствуя повышению энергоэффективности и снижению эксплуатационных затрат.

Библиографический список

1. **Сунгатуллина, Л.Р.** Нанотехнологии и энергетические ресурсы / Л. Р. Сунгатуллина. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2011. — № 8 (31). — Т. 2. — С. 17-19. — URL: <https://moluch.ru/archive/31/3581/> (дата обращения: 27.01.2025).
2. **Денк С.О.** Энергетические источники и ресурсы близкого будущего. – Пермь: «Пресстайм», 2007. – 383 с.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОК К ПОКАЗАТЕЛЯМ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГТУ

При разработке нормативных энергетических характеристик оборудования ТЭС должны быть определены не только исходно-номинальные зависимости показателей тепловой экономичности от нагрузки, но и поправки к ним на отклонение значений внешних факторов от фиксированных условий. Для оборудования традиционного паросилового цикла поправки обычно принимаются по данным типовых энергетических характеристик, либо рассчитываются согласно утвержденным руководящими документами методикам. Для газотурбинных установок (ГТУ) типовые энергетические характеристики и соответствующие нормативные методики расчета поправок отсутствуют. Поэтому на практике поправки для ГТУ обычно принимают по данным тепловых балансовых испытаний, либо по данным завода-изготовителя, являющимся результатом приближенного расчета [1].

Предложена методика определения поправок к показателям тепловой экономичности ГТУ, основанная на модели множественной линейной регрессии [2]. При наличии достаточного объема эксплуатационных данных, что для ГТУ в большинстве случаев обеспечивается ввиду относительно высокого уровня применяемых АСУ ТП, методика обеспечивает точность, приемлемую для решения практических задач [3]. Апробация предложенной методики определения поправок проведена на основе фактических данных по эксплуатации ГТУ SGT-800.

Разработанная методика может быть рекомендована к использованию при разработке нормативных энергетических характеристик газотурбинных установок при отсутствии результатов тепловых балансовых испытаний и типовых энергетических характеристик. Методика применима также для верификации математических моделей ГТУ, основанных на энергетических характеристиках оборудования и используемых в системах оптимизации режимов работы оборудования ТЭС.

Библиографический список

1. Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. Расчет и нормирование показателей тепловой экономичности оборудования ТЭС. – Иваново, 2015. – 468 с.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. В 2 кн. Кн. 1. Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
3. Горшков А.С. Техничко-экономические показатели тепловых электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.

*К.А. Копнышева, студ.; рук. И.А. Кокулин, ст.преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ТУРБОАГРЕГАТА Т-50-130

Вопрос расчёта удельных расходов условного топлива является актуальной задачей. Данный расчёт производят для выявления топливных затрат, чаще всего в трёх ситуациях:

- для оценки эффективности нового или модернизированного энергоблока станции;
- для оценки работы персонала и менеджмента;
- для сравнения результатов либо теплоэлектростанций, либо энергоблоков с аналогичными объектами генерации.

Одним из основных факторов влияющих на тепловую экономичность ТЭС с теплофикационными турбоагрегатами является величина тепловой нагрузки турбоагрегатов, а также её распределение между регулируемыми отборами и конденсатором. Несмотря на то, что расчет тепловых нагрузок регламентируется нормативными документами по факту, в связи с трудоемкостью расчет производится по упрощенным методикам. Упрощение приводит к искажению нагрузок производственных и теплофикационных отборов турбоагрегатов.

В рамках данной работы произведена разработка методики и алгоритма расчета тепловых нагрузок турбоагрегата Т-50-130. Выполнен расчет тепловых нагрузок теплофикационного отбора и нерегулируемых сверх нужд регенерации для контрольного режима, которые составили: I нерегулируемый отбор – 1,2 МВт; II нерегулируемый отбор – 1,5 МВт; III нерегулируемый отбор – 0,9 МВт; IV нерегулируемый отбор – 1,3 МВт; Т-отбор – 87,6 МВт.

Определена ошибка расчета удельного расхода тепла брутто на выработку электроэнергии турбоагрегатом отчетного значения относительно расчетного.

Таблица 1 – Параметры для нахождения погрешности удельного расхода тепла брутто на выработку электроэнергии турбоагрегатом для 1, 2, 3 и 4 отборов сверхнужд регенерации турбоагрегата

Нерегулируемый отбор сверхнужд регенерации	КИМ	ΔQ	ΔN	$N_{\text{фискт}}$	$N_{\text{исх}}$	$G_{\text{фискт}}$	$G_{\text{исх}}$	ΔG	$Q_{\text{э}}$	$\Delta q_{\text{т}}^{\text{бр}}$
I отбор	0,3177	-1,2	-0,391	40,4	40,1	188,3	187,0	1,3	0,7	17,9
II отбор	0,2921	-1,5	-0,430	40,5	40,1	188,4	187,0	1,4	0,8	19,7
III отбор	0,2486	-0,6	-0,150	40,2	40,1	187,5	187,0	0,5	0,3	6,9
IV отбор	0,2191	-0,9	-0,197	40,2	40,1	187,7	187,0	0,7	0,4	9,0

Суммарно поправка удельного расхода тепла брутто на выработку электроэнергии турбоагрегатом отчетного значения относительно расчетного составила 53,5 ккал/кВт ч.

*А.М. Телегина, студ.; рук. И.А. Кокулин, ст.преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРЕВОД ТУРБИНЫ ПТ-65-130/13 ЯТЭЦ-3 НА РЕЖИМ РАБОТЫ С УХУДШЕННЫМ ВАКУУМОМ

В настоящее время ТЭЦ с существующим оборудованием морально и физически устарели и требуют реконструкции или модернизации. При этом реконструкция должна сопровождаться увеличением уровня загрузки в течение всего года с повышением выработки электроэнергии на тепловом потреблении, ростом конкурентоспособности реконструируемого или модернизируемого оборудования, в том числе и в конденсационном режиме.

Одной из главных проблем в комбинированном производстве тепловой и электрической энергии являются высокие потери теплоты, передаваемой охлаждающе воде в конденсаторе.

Существует способ использования этой теплоты отработавшего пара паровой турбины для целей теплофикации – перевод турбоагрегата в режим «ухудшенного вакуума».

В данной работе рассмотрена возможность перевода турбоагрегата ПТ-65-130/13 Ярославской ТЭЦ-3 на режим работы с ухудшенным вакуумом с целью подогрева сетевой воды в конденсаторе.

В результате перевода турбины на ухудшенный вакуум будет проведена реконструкция в низкопотенциальной части схемы.

Конденсатор подключен к седьмому отбору и демонтированы ступени от седьмого отбора до выхлопа турбины.

После реконструкции турбина имеет шесть регенеративных отборов пара: два из них регулируемые. Конденсат турбины подогревается в охладителях уплотнений ОУ, сальниковом подогревателе и в трех поверхностных (П-2, П-3, П-4) ПНД. В части высокого давления изменений не предусмотрено.

В ходе рассмотрения данного проекта были выполнены расчеты тепловой схемы до и после реконструкции, а также произведен поверочный расчет конденсатора для оценки возможности работы конденсатора по утвержденному графику отпуска тепловой энергии.

В результате расчета было выявлено, что при реализации данного проекта прогнозируется увеличение удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении с 0,383 до 0,435 кВт·ч/Гкал, но также снижение вырабатываемой мощности на 5 МВт.

Таким образом, реализация перевода турбины на режим работы с ухудшенным вакуумом для подогрева сетевой воды можно считать экономически целесообразной, но с обязательным учетом эксплуатационных факторов, возникающих при данной реконструкции.

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

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕПЛОМАСООБМЕНА В ИСПАРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ

Одним из ключевых направлений внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий на ТЭС и АЭС является оптимизация систем термической подготовки добавочной воды. Важную роль в этом процессе играют многоступенчатые многопоточные испарительные установки мгновенного вскипания (МИУМВ) Exerger FVE. Эти установки представляют собой новое поколение вертикальных испарителей мгновенного вскипания, которые могут быть скомпонованы в блочном исполнении. Их применение позволяет получать обессоленную, деаэрированную и подогретую воду, пригодную для использования в энергетических котлах с рабочим давлением до 14 МПа. Принцип работы установок мгновенного испарения основан на вскипании перегретой воды при ее попадании в зону пониженного давления. Эффективная организация тепломассообмена в каждой ступени позволяет использовать тепло конденсации пара для подогрева и испарения циркулирующей воды. Совершенствование этого процесса, направленное на минимизацию потерь тепла и влаги, является важной задачей для энергетической отрасли и смежных промышленных секторов.

Для моделирования процессов тепломассообмена с учетом фазовых переходов в теплоносителях применяются математические модели, основанные на уравнениях баланса массы и энергии. Решение полученных систем линейных и дифференциальных уравнений осуществляется с использованием численных и аналитических методов. В процессе решения определяются такие параметры, как температура охлаждающей воды и пара, а также доли или производительность по пару и дистилляту на каждой ступени. Согласно полученным результатам, при уменьшении расхода охлаждающей воды с 502 до 126 т/ч производительность установки по дистилляту существенно снижается с 85 до 14 т/ч. Таким образом, разработанная модель тепломассообмена для многоступенчатых испарительных установок мгновенного вскипания позволяет эффективно организовывать и оптимизировать эти процессы в МИУМВ различного назначения. Это, в свою очередь, создает основу для выбора оптимальных конструктивных и режимных параметров водоподготовительных установок (ВПУ) с использованием МИУ, что способствует повышению их эффективности и экономичности.

**М.Д. Тоскина, студ.; рук. И.А. Кокулин, ст.преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ БОРОСКОПИЧЕСКОГО ОСМОТРА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ПТ-25-90/10

Основными целями проведения бороскопического обследования лопаток паровой турбины являются:

- оценка текущего состояния внутренних элементов турбины;
- выявление потенциальных рисков для дальнейшей эксплуатации;
- подготовка к плановому ремонту;
- соблюдение нормативных требований;
- прогнозирование и предотвращение аварийных ситуаций.

В качестве объекта для проведения бороскопического осмотра использовалась паровая турбина ПТ-25-90/10 ст.№1 Ивановской ТЭЦ-2.

Основные результаты обследования: ступень №8 – коррозионно-эрозионный износ выходных кромок всех рабочих лопаток, занятие нескольких РЛ; ступень №15 – коррозионно-эрозионный износ выходных кромок большей части рабочих лопаток; ступень №19 – незначительный эрозионный износ входных и выходных кромок РЛ, занятие двух выходных кромок РЛ; обрывов ленточных бандажей, нарушения плотности сборки ступеней, видимых трещин на лопатках, в бандажах и проволочных связях не обнаружено.

Оценка дефектов: эрозионные кратеры могут инициировать появление усталостных трещин, что может привести к поломке лопаток [1].

Рекомендации: во время следующего ремонта со вскрытием цилиндров необходимо оценить степень механических повреждений рабочих лопаток.

При среднем и капитальном ремонтах производить оценку эрозионного износа основными методами контроля всех рабочих лопаток ступеней и контроль их на отсутствие трещин.

Заключение: бороскопическое обследование является дополнительным методом контроля, и решение о возможности дальнейшей эксплуатации принимается на основании результатов контроля основными методами. Необходимо провести дополнительные исследования и ремонтные работы для обеспечения надежной эксплуатации турбины.

Библиографический список

1. **СО 153-34.17.462-2003.** Инструкция о порядке оценки работоспособности рабочих лопаток паровых турбин в процессе изготовления, эксплуатации и ремонта / [Утверждено Минэнерго России]. – Введ. 2003-06-30. – М.: [б. и.], 2003. – 57 с.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ КИРОВСКОЙ ТЭЦ-1

Кировская ТЭЦ-1 расположена в г. Кирове. Предприятие является частью Кировского филиала ПАО «Т Плюс». Станция имеет установленную электрическую мощность – 10,3 МВт, тепловую мощность двух турбин с противодавлением – 90,2 Гкал/ч и тепловую мощность паровых котлов – 206 Гкал/ч. Основное топливо – природный газ, а резервное топливо – мазут.

В соответствии с действующим законодательством РФ испытания тепловых сетей на тепловые и гидравлические потери должны проводиться раз в 5 лет.

Испытания проводились с целью определения фактических тепловых и гидравлических потерь на трубопроводах по направлению ТЭЦ-1 – ТК 5-34 – ТК5-23, от подающего коллектора ТЭЦ-1 до ТК5-23, включающий участки надземной и подземной прокладок. Диаметр трубопроводов $D_y=400-500$ мм. Длина испытанного участка в двухтрубном исполнении составляет 1 829,8 м.

В результате испытаний определяются тепловые потери для каждого из участков испытываемого кольца отдельно по подающей и обратной линиям.

По результатам тепловых испытаний определены итоговые поправочные коэффициенты к нормам тепловых потерь:

- по надземной прокладке, спроектированной до 1989 г., $k_{\text{под}} = 1,401$ для подающего трубопровода; $k_{\text{обр}} = 1,429$ для обратного трубопровода;

- по подземной прокладке, спроектированной до 1989 г.: $k = 1,398$.

По результатам гидравлических испытаний определены усредненные эквивалентные шероховатости для трубопроводов со сроком службы более 20 лет:

- подающий трубопровод $K_3 = 11,56$ мм;

- обратный трубопровод $K_3 = 9,86$ мм.

Результаты испытаний магистральных трубопроводов от Кировской ТЭЦ – 1 по определению эксплуатационных гидравлических характеристик показывают, что полученные значения K_3 не превышают среднестатистические значения этих коэффициентов для соответствующих диаметров трубопроводов и сроков их эксплуатации.

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

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ САКМАРКСКОЙ ТЭЦ

Сакмарская ТЭЦ расположена в северной части Дзержинского района г. Оренбург. Станция имеет установленную электрическую мощность - 460 МВт и тепловую мощность – 1 576 Гкал/ч. Основное топливо – природный газ Оренбургского месторождения, резервное топливо – мазут марки М-100.

В работе рассмотрены следующие мероприятия:

1. Повышение эффективности использования оборудования ТЭЦ за счет внедрения программного комплекса по расчету оптимальной загрузки турбоагрегатов и котлов ТЭЦ, который позволит выполнять расчет планируемых технико-экономических показателей работы оборудования ТЭЦ, расчет планируемых тепловых нагрузок внешних потребителей, выбор оптимального состава работающего основного оборудования ТЭЦ.

2. Повышение эффективности работы турбин Т-110-130 ст. № 5, 6 за счет увеличения пропускной способности, электрической мощности и тепловой нагрузки турбины. Для этого предлагается:

- перевод на работу с ротором-проставкой ЦНД на теплофикационных режимах, отличающийся отсутствием рабочих лопаток и пазов в дисках для их установки. Турбина в режиме ротора-проставки по сравнению с облопаченным ротором выгодна в силу меньшего расхода топлива и меньшей выработки электрической мощности при сохранении тепловой нагрузки.

- уплотнение регулирующих диафрагм низкого давления, следовательно пропускная способность РД в закрытом положении снижается во много раз и не превышает 3-4 т/ч (на один поток ЧНД) при атмосферном давлении в камере нижнего теплофикационного отбора; ожидаемая экономия топлива от уплотнения диафрагмы применительно к турбине Т-110-130 составляет до 2140 т у. т./год.

2. Установка детандер-генераторного агрегата в топливном хозяйстве, который позволит использовать избыточное давление природного газа для генерации электричества, что снижает потребность в традиционных источниках энергии и уменьшает эксплуатационные расходы.

3. Внедрение контактных экономайзеров после паровых котлов с целью утилизации тепла уходящих газов для нагрева сырой воды перед химводоочисткой.

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

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Паровая турбина является одним из ключевых элементов тепловых энергетических установок. Эффективность работы паровой турбины напрямую влияет на экономичность и надежность энергетических систем, что делает актуальным изучение ее характеристик и методов расчета. В условиях растущих требований к энергоэффективности энергетического оборудования, разработка лабораторного практикума для расчета паровых турбин приобретает особую значимость.

Лабораторный практикум позволяет интегрировать теоретические знания термодинамики, теплотехники и механики жидкостей и газов с практическими навыками анализа и проектирования энергетических установок. Он способствует формированию у студентов компетенций, необходимых для решения инженерных задач, связанных с оптимизацией рабочих процессов, расчетом основных параметров турбины и оценкой ее эксплуатационных характеристик.

Целью настоящей работы является разработка методического обеспечения лабораторного практикума, реализованного на языке программирования Python, который направлен на изучение принципов работы паровой турбины, освоение методов ее расчета и анализ влияния различных факторов на ее эффективность.

На данный момент реализован начальный этап разработки практикума, который позволяет производить предварительный конструкторский расчет проточной части паровой турбины, а именно определять:

- ориентировочный процесс расширения пара;
- размеры регулирующих, первых и последних нерегулируемых ступеней цилиндров;
- оптимальное число промежуточных нерегулируемых ступеней, а также распределение теплового перепада между ними.

Актуальность разработки такого практикума обусловлена необходимостью подготовки высококвалифицированных специалистов, способных применять современные методы расчета и моделирования для проектирования и оптимизации энергетического оборудования. Внедрение лабораторного практикума в образовательный процесс позволит не только углубить понимание термодинамических процессов, но и развить навыки работы с современным программным обеспечением и измерительным оборудованием, что соответствует требованиям современных образовательных стандартов и запросам промышленности.

Д.А. Михальцов, студ.; рук. А.Е. Барочкин, д.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ РАСХОДОВ МАЗУТА ДЛЯ КОНТУРОВ БОЛЬШОЙ И МАЛОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ОМСКОЙ ТЭЦ-4

Установленная электрическая мощность Омской ТЭЦ-4 составляет 385 МВт, а тепловая — 900 Гкал/ч. Основными потребителями тепла у ТЭЦ является НПЗ и район жилой застройки в городе.

Мазутное хозяйство предназначено для приема, хранения и подготовки мазута к сжиганию, бесперебойной циркуляции подогретого профильтрованного мазута в котельном цехе и подаче его в необходимом количестве, при сжигании мазута во время растопок и для "подсветки" котла при неустойчивом горении. На Омской ТЭЦ-4 сжигается мазут марки ТКМ-16.

Расчет выполнен по РД 153-34.1-09.205-2001. Суммарное номинальное количество тепла, содержащееся в поданном на мазутное хозяйство паре за период нахождения его в работе, определяется:

- расходом тепла при сливе мазута из железнодорожных цистерн и пропарке их после слива;
- расходом тепла при подогреве в подогревателях подаваемого на сжигание мазута;
- расходом тепла при транспортировке мазута по трубопроводам;
- расходом тепла при транспортировке пара по трубопроводам;
- расходом тепла при хранении мазута в резервуарах;
- расходом тепла при поддержании приемно-сливного устройства (ПСУ) в резерве (при отсутствии слива топлива);
- расходом тепла при поддержании мазутного хозяйства в режиме резерва.

В условиях Омской ТЭЦ-4 весь используемый мазут поступает на станцию по трубопроводу с ОНПЗ, а не по железной дороге.

Для расчета нам потребуются 3 зависимости. Норма удельного расхода тепла $q_{\text{под}}$, норма удельного расхода тепла при хранении мазута в металлических резервуарах $q_{\text{хр}}^{\text{м}}$, норма удельного расхода тепла при транспортировке мазута $q_{\text{тр}}^{\text{м}}$ и пара $q_{\text{тр}}^{\text{п}}$.

Исходя из анализа состава оборудования мазутного хозяйства мы вычислили расходы мазута для контуров большой и малой циркуляции: 9,28 т/ч и 11,65 т/ч соответственно.

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

ОБСЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ДНР

Основной теплоснабжающей организацией в ДНР является ГУП ДНР «Донбасстеплоэнерго», которая эксплуатирует более 1000 котельных суммарной тепловой мощностью 7405 Гкал/ч.

Износ оборудования котельных составляет 57 %, что объясняется отсутствием необходимого уровня финансирования в предшествующий период. В качестве дополнительных проблем можно указать несоответствие современным требованиям российского законодательства в части эксплуатации опасных объектов и значительное количество угольных котельных.

Ввиду большого количества проблем на действующих объектах теплоснабжения их единовременное решение затруднительно. С целью поддержания работоспособности оборудования и недопущения аварийных ситуаций в отопительный период было проведено обследование технического состояния котельных с целью формирования перечня первоочередных мероприятий и расчета необходимого объема финансирования.

Обследование проводилось на наиболее крупных котельных с тепловой мощностью более 50 Гкал/ч. Общее количество обследованных котельных составило 21: 2 котельные расположены в г. Горловке, 9 котельных в г. Донецк; 1 котельная в г. Макеевка; 5 котельных в г. Мариуполь; 1 котельная в г. Кировское; 1 котельная в г. Шахтерск; 1 котельная в г. Харцызск; 1 котельная г. Зугрэнс.

В результате обследования получены следующие результаты: три котельные, которые вводились последними находятся в хорошем состоянии, большая часть находится в удовлетворительном состоянии. У некоторых, отдельные элементы находятся в неудовлетворительном состоянии: износ или выход из строя электрического и технологического оборудования, трещины в фундаменте, протекания крыши, нарушение вертикальных конструкций, отсутствие ограждения периметра.

По результатам обследования были предложены мероприятия по реконструкции основного и вспомогательного оборудования в период до 2030 года на 8-ми котельных: 5 котельных в г. Донецк (МР Мирный, МР Цветочный-2, МР-2, МР-18, Ионина), 1 котельная в г. Мариуполь (138 кв), 1 котельная в г. Кировское (№1), 1 котельная в г. Харцызск (№11).

*А.А. Кузнецов, А.В. Шамиурин, студ.;
рук. В.Н. Потапов, к.т.н., доц.
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

НЕДОСТАТОК ГОРЕЛОК С РАДИАЛЬНЫМИ ЛОПАТКАМИ ЗАВИХРИТЕЛЯ ВОЗДУХА

На газовых котлах часто внедрены горелки с завихрителями воздуха из неподвижных радиальных лопаток в амбразурах при выходе воздуха в топку. По сути это реплики горелок Пилара, разработанных в XX веке. Они хорошо отработаны для снижения выбросов оксидов азота и почти полного сжигания природных газов при номинальных нагрузках. Такие горелки на мощных котлах при работе электростанций в переменном графике нагрузок имеют экономические и экологические показатели хуже, чем при сжигании газа со старыми горелками с тангенциальными или с улиточными завихрителями [1,2]. На низких нагрузках, часто актуальных, эти старые горелки имеют преимущества и при двухканальном исполнении. Ухудшение горения на пониженных нагрузках у горелок с регистрами из неподвижных радиальных лопаток является деформация и сдвиг области оптимизированного смешения, воспламенения и выгорания газа в закрученном факеле. Это вызвано с изменением местной крутки в этой области и на ее границах, отражая изменения турбулентной структуры потока. Это следствие радиального переноса и перераспределение в сечении закрученного потока момента количества движения и осевого импульса, которые существенно зависят от особенностей завихрителя воздуха и наличия многоканальности при формировании горящего факела. Регистр из неподвижных радиальных лопаток хотя и надежен для воспламенения топлива, но не благоприятен для сохранения положения областей как интенсивного, так и слабого перемешивания, сохранения структуры потока при изменении расхода воздуха в вариантах оптимального аэродинамического сопротивления. При наличии многоканальности горелок такие регистры обычно имеют существенные различия значений коэффициентов сопротивления, что влечет непропорциональные изменения расходов воздуха по каналам. Это нарушает оптимальную настройки горения в зоне воспламенения и выгорания в режимах существенного изменения расхода топлива.

Библиографический список

1. **ГОСТ 21204–97.** Горелки газовые промышленные. Общие технические требования (утв. постановлением Госстандарта РФ от 17 сентября 1997 г. N 313) (с изменениями от 1 мая 2005 г.).
2. **ОСТ 108.030.26–78.** Горелки вихревые пылеугольные, пылегазовые и компоновка их с топками. Методы расчета и проектирования. Взамен ОСТ 24.030.26–72.

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

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОЕМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Технология производства электроэнергии на тепловых и атомных станциях связана с использованием большого количества воды. Для бесперебойного обеспечения электростанции водой используется система технического водоснабжения.

Существует две системы технического водоснабжения: прямоточная и оборотная. Но возможно и сочетание обеих систем.

Особенность прямоточной системы водоснабжения заключается в однократном использовании циркуляционной воды, после чего она сбрасывается в реку, без повторного использования.

Оборотная система водоснабжения характеризуется многократным использованием технической воды. Ее применяют в тех случаях, когда в районе строительства электростанции нет источника с достаточным расходом воды. В оборотной системе технического водоснабжения в качестве охладителя воды используют: пруды-охладители (естественные или искусственные), градирни, брызгальные бассейны.

Особенностью работы таких систем является воздействие на них природных «неуправляемых» факторов (метеорологических и гидрологических). А именно в летнее время при высоких температурах воздуха наблюдается повышение температуры воды в водоеме и как следствие ухудшение эффективности работы конденсационной установки, что приводит к снижению термического КПД цикла.

Кроме этого, сильный подогрев воды в водоеме вызывает большие сдвиги в гидробиологическом режиме.

Указанные выше недостатки приводят к снижению эффективной работы водоемов-охладителей. Для оптимального использования системы следует более детально производить расчеты по организации схем движения потоков охлаждаемой воды.

Библиографический список

1. Антонова, Л.Н. Назначение и особенности условий работы водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций /Л.Н. Антонова, Г.И. Канюк, Т.Е. Погонина и др. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/10 (56). – С. 56-63. – / URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/naznachenie-i-osobennosti-usloviy-raboty-vodoemov-ohladiately-teplovyyh-i-atomnyh-elektrostantsiy/viewer> (дата обращения 18.01.25)
2. Власова, Е.Р. Системы охлаждения и технического водоснабжения на ТЭЦ / Е. Р. Власова, Н. В. Комарова, Е. О. Реховская // Молодой ученый. – 2016. – № 24 (128). – С. 135-136. – URL: <https://moluch.ru/archive/128/35495/> (дата обращения: 22.01.2025)

Н.Т. Манин, студ.; рук. А.Е. Барочкин д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В целях комплексного определения основных технико – экономических показателей работы тепловых сетей в межсезонный, летний и зимний период определена проведён комплексный анализ путём исследования показаний приборов учёта и результатов методов исследования физического износа – путём шурфования.

Объект исследования – городские тепловые сети. Располагаемые тепловые сети – магистральные условного диаметра 316мм и протяжённостью 41 713,4м, квартальные условного диаметра 108мм и длиной 615 793,4м, из которых 586 711,3м труб отопления однострубногo исполнения и 29 082,1м горячего водоснабжения. В итоговом значении - 657 506,8м для всей теплосети в однострубногo исполнении.

Средний возраст тепловых сетей на 2025 год – 46 лет, что выше нормативного срока службы в 30 лет (СП 124.13330.2012). Так, 80% длины тепловой сети смонтировано до 1980. Это отражается на повреждаемости как в процессе эксплуатации так и во время гидроиспытаний. Динамика оценивается линейной и возрастающей с 2019 года по 2023 г (приведён в таблице). Особенно активно наблюдается в некоторых районах города с высоким уровнем грунтовых вод (например, в Московском микрорайоне).

Таблица 1 - Сводные данные по повреждениям на тепловых сетях за 2019-2023 годы

од	Количество отказов в тепловых сетях в отопительный период	Количество отказов в тепловых сетях в межотопительный период без учета ГИ	Количество отказов в тепловых сетях в период ГИ	Количество отказов в тепловых сетях за год
2019	193	11	233	437
2020	154	1	236	391
2021	221	8	162	391
2022	236	2	217	455
2023	318	10	246	574

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОТЕЛЬНЫХ

Оценка состояния производилась для 22 котельных ТСО. Основным топливом является природный газ. Большинство котельных имеют небольшую установленную тепловую мощность (менее 5 Гкал/ч). Наиболее мощными являются котельные № 37 (78,4 Гкал/ч), № 23 (26,7 Гкал/ч), № 48 (19,5 Гкал/ч).

Парковой ресурс котельного оборудования, эксплуатируемого на источниках тепловой энергии ТСО, составляет 10-20 лет в зависимости от типоразмера котла. По состоянию на 2024 год парковый ресурс исчерпан для 56 котлов (71,80 %) от общего количества котлов. Это приводит к снижению располагаемой тепловой мощности, снижению эффективности производства тепловой энергии и росту совокупных затрат на производство тепловой энергии. Как следствие растет тариф для конечного потребителя и снижается надежность теплоснабжения. Поэтому существует необходимость реконструкции источников тепловой энергии с заменой основного и вспомогательного оборудования.

Анализ имеющихся экспертиз промышленной безопасности оборудования котельных, а также проведенное обследование показали, что все котельные находятся в «работоспособном» состоянии. При обследовании котельных производились измерения температуры обмуровки котлов, измерение параметров уходящих газов котлов, определение фактических параметров водно-химического режима работы котельных, визуальный осмотр с целью выявления дефектов.

Из анализа структуры котельных и их технического состояния были предложены мероприятия по реконструкции источников тепловой энергии, которые предлагается выполнить в три этапа:

1) Реконструкция паровых котельных (№1, №37, №25) с заменой паровых котлов на водогрейные.

2) Реконструкция водогрейных котельных № 35, 23, 31, 3, 17, 33, 19, 45, 2, 41, 43, чей парковый ресурс по состоянию на 2024 год исчерпан.

3) Реконструкция водогрейных котельных № 39, 44, 30, 46, 18, 24, 10, чей парковый ресурс по состоянию на 2024 год не исчерпан.

В случае реализации предложенных мероприятий на котельных будет установлено современное высокоэффективное котельное оборудование, что повысит надежность теплоснабжения потребителей и приведет к экономии топлива на уровне 1009 т.у.т.

*М.И. Будаков, студ.; рук. П.Г. Михеев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УВЕЛИЧЕНИЕ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ СОЛИКАМСКОЙ ТЭЦ-12 ЗА СЧЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА ПГУ

В данном исследовании рассматривается возможность увеличения установленной электрической мощности Соликамской ТЭЦ-12 за счет строительства парогазовой установки (ПГУ) на базе двух газотурбинных установок (ГТУ) мощностью по 20...25 МВт каждая.

Строительство ПГУ на базе ТЭЦ позволит существенно увеличить электрическую мощность станции до 180 МВт и тепловую — до 860 МВт. Это обеспечит надёжное и стабильное энергоснабжение потребителей, а также снизит зависимость региона от внешних источников энергии.

Проект предполагает установку двух ГТУ мощностью по 20...25 МВт каждая, котлов-утилизаторов и паровой турбины. Газовые турбины будут работать на природном газе, обеспечивая комбинированное производство электрической и тепловой энергии.

Реализация данного проекта позволит АО «Соликамскбумпром» получить дополнительную мощность в 55 МВт, повысить надёжность системы теплоснабжения северной части города.

Рассмотрены два варианта состава основного оборудования парогазовой установки:

Вариант 1: две ГТУ типа Н-25 «Хитачи» с котлами-утилизаторами КГТ-50/4,0-440 и паровая турбина ПТ-25-3,4/0,6.

Вариант 2: две ГТУ типа UGT-15000 «Зоря-Машпроект» с котлами-утилизаторами типа КГТ-32/3,9-440 и паровая турбина ПТ-12/13-3,4/1,0.

Оба варианта обеспечивают заданный уровень выработки электрической энергии.

Вариант 2 имеет несколько худшие экономические показатели. В тоже время в этом варианте за счет применения более компактного оборудования облегчается монтаж, эксплуатационное и ремонтное обслуживание ПГУ (по сравнению с Вариантом 1).

Ввод в эксплуатацию ПГУ по обоим вариантам не приводит к недопустимым воздействиям на окружающую среду.

Библиографический список

1. **Цанев, С.В.** Газотурбинные и парогазовые установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. - М.: Изд-во МЭИ, 2021. – 580 с.

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

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСОВ С МЕХАНИЗМОМ РАЗВОРОТА ЛОПАСТЕЙ

Давление отработавшего пара в конденсаторе является одним из основных технико-экономических показателей работы турбоагрегата. Его значение напрямую влияет не только на эффективность, но и на надежность работы турбоагрегата и в условиях эксплуатации турбоагрегата может меняться в достаточно широких пределах. Оно зависит от большого количества влияющих факторов, среди которых можно выделить расход отработавшего пара; определяемый электрической мощностью турбоагрегата, расход и температура охлаждающей воды на входе в конденсатор, площадь и состояние поверхности конденсатора, наличие отложений и присосов воздуха в вакуумную систему, режим работы основных эжекторов и др.

Для быстроходных турбин АЭС располагаемый теплоперепад почти вдвое меньше, чем для турбин перегретого пара. Поэтому изменение давления в конденсаторе для таких турбин, сильнее сказывается на термическом КПД цикла, а соответственно и на изменении мощности турбины (примерно на 1,8 % от номинальной мощности при отклонении давления в конденсаторе на ± 1 кПа) [1]. Для тихоходных турбин в силу большей длины последних лопаток соответствующее изменение мощности примерно соответствует значениям для турбин ТЭС, работающих на органическом топливе.

Для подачи воды на конденсаторы на АЭС широко применяются осевые или диагональные насосы с механизмом разворота лопастей, который позволяет избегать нежелательных режимов работы в зоне помпажа и регулировать расход охлаждающей воды. Для осуществления систематического эксплуатационного контроля за работой конденсационных установок, выбора оптимального режима загрузки циркуляционных насосов и углов разворота их лопастей с целью поддержания оптимального вакуума необходимо располагать расчетными моделями отдельных элементов вакуумно-конденсационной установки турбоагрегата и циркуляционной системы, а также методикой их совместного использования.

Библиографический список

1. **Бродов Ю. М., Савельев Р.** Конденсационные установки паровых турбин: Учебн. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1994.— 288 с, ил.

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

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С БИОПОМЕХАМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Надежность, экономичность и безопасность работы АЭС во многом определяется состоянием поверхностей нагрева и, частности, систем охлаждения. Серьезные затруднения в системах охлаждения создают биологические обрастания или биопомехи. Рост живых организмов наблюдается, как правило, в воде при температуре 10-35 °С. Наиболее распространенные виды таких организмов это бактерии и грибки. Они образуют на стенках труб пленки, напоминающие слизь. Продукты жизнедеятельности бактерий, грибов не только способствуют коррозии оборудования, но и очень часто приводят к уменьшению интенсивности теплопередачи и зарастанию труб за счет биологического обрастания. Биопленка толщиной в 250 мкм может снизить теплопередачу до 25 %. Кроме того, такая пленка микроорганизмов может служить основой для развития водорослей и моллюсков, которые снижают пропускную способность трубопроводов.

Методы УЗ борьбы с обрастанием включают облучение оборудования, что вызывает эффект кавитации в тканях гидробионтов, снижает их способность к оседанию на субстрат и последующему росту. Известно, что почти полную гибель личинок двусторчатого моллюска дрейссены вызывает непрерывное УЗ воздействие мощностью 100–800 Вт, напряжением 438 В и частотой 17–22 кГц в течение нескольких суток, при этом процент гибели резко возрастает с увеличением частоты и силы звукового давления. Недостатком данного метода является большой расход электроэнергии.

Химический способ считается удобным, поскольку влияние человека минимально. Достаточно подключить оборудование и выполнить процесс. Минусом является то, что трудно подобрать реагент, и не каждый химический состав способен справиться с удалением загрязнителя.

Механический способ менее опасный, не загрязняет окружающую среду. К недостаткам нужно отнести процедуру разборки теплообменника и возможные механические повреждения некоторых деталей, что приводит к тому, что нужно заменять элемент. Это увеличивает стоимость работы.

Комбинированный способ самый эффективный, поскольку можно добиться 100% результата работы. К недостаткам стоит отнести необходимость разборки систем и узлов, и дороговизну работы.

А.Т. Ахметзянова, асп., А.А. Филимонов, студ.;
рук. А.А. Филимонова, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МЕТОДОМ БИПОЛЯРНОГО ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА

На электромембранном стенде [1] проведены эксперименты на реальных концентрированных кислых и щелочных сточных водах реального промышленного объекта – Казанской ТЭЦ-3.

Расчет выполняется для ионитной водоподготовительной установки (ВПУ) Казанской ТЭЦ-3 с использованием результатов опытных исследований на отдельных фракциях сточных вод ВПУ. Производительность ионитной ВПУ в среднем составляет 400 т/ч. Удельные расходы кислоты и щелочи на регенерацию ионитных фильтров составляют по кислоте $J_{H_2SO_4} = 2,2 \frac{\text{моль экв. } H_2SO_4}{\text{моль эквивалент катионов}}$, по щелочи $J_{NaOH} = 2,4 \frac{\text{моль экв. } NaOH}{\text{моль эквивалент анионов}}$. На ионитную ВПУ исходная вода поступает после предочистки. Ионный состав исходной (осветленной) воды для ионитной ВПУ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Ионный состав исходной (осветленной) воды для ионитной ВПУ

катионы, моль экв.	Ca ²⁺	2,2	анионы, моль экв.	SO ₄ ²⁻	2,0
	Mg ²⁺	0,8		Cl ⁻	0,4
	Na ⁺ (K ⁺)	1,0		CO ₃ ²⁻	0,4
				OH ⁻	0,2

При регенерации образуется в среднем 13 т/ч фракции концентрированных кислых и 10 т/ч щелочных сточных вод. Утилизация такого количества концентрированных кислых и щелочных сточных вод выполняется на электромембранном стенде методом биполярного обратного электродиализа [2]. Произведенной электроэнергии достаточно для производства водорода, необходимого для охлаждения подшипников турбин для всей ТЭЦ.

Библиографический список

1. Давыдов, Д.В., Мельников, С.С., Коржов, А.Н. Обратный электродиализ для получения энергии из градиента солености / Современные электрохимические технологии и оборудование: Материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 2021. – С. 265-267.
2. Чичилов, А.А., Филимонова, А.А., Чичирова, Н.Д., Майоров, Е.С. Экспериментальные исследования электрических и массообменных процессов при обратном электродиализе / Из ВУЗ. Проблемы энергетики. Т. 25 (4), 2023. – С. 53-70.

**В.Р. Некрасова, студ.; рук. Е.В. Барочкин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МЕДНОГОРСКОЙ ТЭЦ

В муниципальном образовании «город Медногорск» преобладает централизованное теплоснабжение от источника комбинированной выработки МТЭЦ. Особенностью схемы является, расположение источника на значительном удалении (3 км) от потребителей тепловой энергии. Данная особенность имеет ряд недостатков: остывание теплоносителя, высокие гидравлические потери и самый главный недостаток - низкую надежность всей системы, по причине единственного тепловывода магистрали и одного источника. При выходе из строя головного участка в зимний период или аварии на МТЭЦ отсутствует возможность резервирования другими источниками и под аварийное отключение попадает весь город.

Повреждение магистрального участка тепловой сети в зимний период потребует останова теплоснабжения всего города по причине отсутствия резервирования.

С целью повышения надежности теплоснабжения потребителей рассматривается сценарий развития системы теплоснабжения, предполагающий закрытие МТЭЦ с переводом нагрузки на новую БМК, вывод из эксплуатации сетей крупного диаметра, строительство новой БМК взамен котельной № 1 (Больничная), выполнение мероприятий по повышению эффективности и снижению уровня износа тепловых сетей.

Реализация проекта позволит:

- снизить потребление энергоресурсов;
- снизить тепловые потери за счёт сокращения протяженности тепловых сетей, частичной замены теплотрасс на новые трубопроводы в современной изоляции, вывода из эксплуатации тепловых сетей крупного диаметра, за счет снижения температурного графика тепловой сети;
- повысить надежность, увеличить качество теплоснабжения и качество горячего водоснабжения у потребителя;
- снизить себестоимость тепловой энергии;
- увеличить экономическую и техническую эффективность производства;
- снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. - обновить активы городского имущества.

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

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ БИОПОМЕХ НА РАБОТУ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На многих российских атомных электростанциях используются оборотные системы технического водоснабжения с водоемами – охладителями. Основной проблемой возникающей при эксплуатации систем охлаждения – массовое развитие любых организмов, также как и попадание их отмерших частей в систему охлаждения. Открытая часть системы технического водоснабжения – водоем- охладитель – является, чаще всего, относительно крупным водным объектом многоцелевого пользования, экологическое и санитарно– эпидемиологическое состояние которого должно отвечать действующим природоохранным нормативам . По своему происхождению это может быть как искусственно созданный водоем, так и природный. Во всех случаях в водоемах охладителях формируются биоценозы, уровень биоразнообразия которых сравним с сообществами организмов. Наряду с тем, что возникновение биологических помех (биопомех) способно вызывать нарушение нормальной работы АЭС, борьба с ними может нанести существенный урон биоценозу водоёма и существенно уменьшить видовое разнообразие растений и животных. Биологические помехи – это явление взаимодействия между техническими и биологическими элементами техноэкосистемы, в результате которого само присутствие организмов, продуктов их жизнедеятельности, или их остатков оказывающих негативное влияние на нормальную эксплуатацию технических систем.

Биологические помехи в работе систем водоснабжения возникают в результате жизнедеятельности различных организмов, в первую очередь гидробиотов, обитающих в водоисточнике или системах водоснабжения. Бактерии, водоросли, протисты, беспозвоночные и позвоночные животные, высшие растения могут вызывать биологические помехи.

Остро проблема биологических помех проявляется при массовом развитии дрейссены, поселения которой отличаются высокой биомассой и численностью.

Одним из эффективных средств борьбы с обрастаниями является хлорирование или применение так называемых оксидантов, но оно опасно для персонала и окружающей среды. Так как, сама причина биологических помех кроется в развитии тех или иных организмов, то необходимо искать пути их устранения или ограничения развития при помощи тех факторов, которые регулируют их численность в природе.

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

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Трубопроводы являются неотъемлемой частью каждой технологической системы ТЭС. От их сопротивления зависят не только затраты на транспортировку теплоносителя, но и расход (в соответствии с напорной характеристикой насоса). Потери давления определяют характеристику сети и возникают из-за сил вязкого трения, вызванного движением среды по трубе и изменения скорости в результате прохождения местных сопротивлений (колена, тройники, переходы и т.д.).

Целью гидродинамических расчетов трубопроводов является:

- определение потери давления на участке с заданным диаметром и конфигурацией трубопровода;
- определение давления в конечной или начальной точке участка трубопровода;
- определение пропускной способности трубопровода.

Гидравлические расчеты при проектировании в обязательном порядке проводятся для следующих трубопроводов:

- 1) трубопроводы с небольшим изменением удельного объема среды (конденсат, охлаждающая и циркуляционная вода);
- 2) трубопроводы с большим изменением удельного объема среды (пара). Обычно к ним относятся трубопроводы со скоростью пара больше 130 м/с, например, выхлопные паропроводы, продувочные паропроводы;
- 3) Трубопроводы кипящей воды и насыщенного пара свыше 100 кг/см² (непрерывная продувка котла, аварийный сброс барабана котла).

Относительно небольшие трубопроводные системы возможно рассчитывать ручным способом, используя известные расчетные зависимости и справочные данные по местным потерям. Для расчета сложных систем используется специализированное программное обеспечение, например, ППК «Гидросистема» (НТП Трубопровод).

Библиографический список

1. Тимошин Л.И., Шарафутдинова Н.К. Гидравлический расчет водопроводов методические указания для выполнения курсовой работы. УИУНЛ ИГЭУ. 2022 – 36 с.
2. Никитина И.К. Справочник по трубопроводам тепловых электростанций». Энергоатомиздат. 1983 – 176 с.

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

РАЗРАБОТКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ТЭС

Поддержание экономичного вакуума в конденсаторе является важной частью при эксплуатации паротурбинных установок ТЭС. Среди основных факторов, влияющих на величину экономического вакуума можно отметить соотношение расхода охлаждающей воды к расходу отработавшего пара, температура охлаждающей воды на входе в конденсатор, площадь и состояние поверхности, величина присосов воздуха и режим работы основных эжекторов. Среди дополнительных факторов, которые можно учесть при определении величины экономического фактора можно выделить плату за водопользование. Учет его приведет к повышению требуемой температуры охлаждающей воды на входе в конденсаторы, а как следствие, некоторому повышению величины оптимального давления отработавшего пара в конденсаторе.

Определение зависимости величины экономического вакуума возможно путем применения комплексной методики расчета, построенной на основе теплогидравлической модели конденсатора и гидравлической модели системы циркуляционного водоснабжения, учитывающей энергетическую и напорную характеристики циркуляционных насосов.

Разработка комплексной методики расчета циркуляционных трактов ТЭС и последующая ее верификация являются первоочередными задачами, которые возможно решить с помощью стандартных методов гидравлического расчета с использованием имеющихся экспериментальных исследований элементов циркуляционных трактов, а в случае их отсутствия – программные средства вычислительной гидрогазодинамики.

Библиографический список

1. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин: учебное пособие для вузов. Энергоатомиздат. 1994 – 288 с.
2. Яковлев Г.Г. Методические указания по испытанию циркуляционных насосов и систем циркуляционного водоснабжения паротурбинных установок электростанций. Союзтехэнерго. 1994 – 288 с.

СЕКЦИЯ 2

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

Председатель

к.т.н., доцент **Еремина Н.А.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Карпычев Е.А.**

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

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ

Хроматография – это физико-химический метод разделения веществ, основанный на распределении компонентов между двумя фазами – подвижной и неподвижной. В газовой хроматографии подвижной фазой является газ-носитель, неподвижной фазой - адсорбент, твердый материал в виде цеолита, силикагеля, активированного угля и прочего. При этом методе в колонку с адсорбентом вводят порцию газовой смеси. В эту же колонку подается газ-носитель. На выходе из колонки детектор фиксирует концентрацию компонентов смеси, а регистрирующий прибор записывает выходную кривую в виде ряда пиков, число которых соответствует числу определяемых компонентов. Размер высоты пиков характеризует количественное содержание компонентов. Анализируемая смесь состоит из компонентов, отличающихся строением, и это различие в строении компонентов обуславливает их различную адсорбционную способность по отношению к данному адсорбенту. При прохождении через хроматографическую колонку проба разделяется на компоненты, которые затем поочередно поступают в детектор в потоке газа-носителя. Детектор служит для того, чтобы обнаружить присутствие этих компонентов и выдать сигнал, характеризующий количество компонентов.

Трансформаторные нефтяные масла являются жидкими диэлектриками, которые обеспечивают надежную электрическую изоляцию и охлаждение активной части маслонеполненного высоковольтного электрооборудования (силовые и измерительные трансформаторы, реакторы, высоковольтные вводы и др.).

Особую роль в контроле состояния маслонеполненного оборудования играет контроль газов, растворенных в масле. Появление в оборудовании практически любых видов дефектов сопровождается образованием газов, растворяющихся в масле, при этом специфические виды дефекта генерируют свои газы в разных количествах. Изучив процессы газообразования различными видами дефектов, можно по составу газов, растворенных в масле, судить о видах дефектов, в результате которых они появились. На этом принципе основан наиболее мощный диагностический метод «Хроматографический анализ растворенных газов» (ХАРГ).

Таким образом ХАРГ применяется в качестве средства ранней диагностики развивающихся дефектов оборудования, позволяет выявить

содержание различных веществ в масляной смеси и на основе их количества сделать выводы о неполадках.

Библиографический список

1. РД ЭО 1.1.2.05.0444-2016 Требования к эксплуатации организации и проведению испытаний трансформаторных и турбинных масел на атомных станциях

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НА-КАТИОНИРОВАНИЯ ИСХОДНОЙ ВОДЫ ПЕРЕД УСТАНОВКОЙ ОБРАТНОГО ОСМОСА

Показатели работы водоподготовительной установки (ВПУ) на ТЭС и АЭС на базе установки обратного осмоса (УОО) значительно зависят от схемы подготовки исходной воды, её гидравлического КПД и схемы дообессоливания пермеата. Качество исходной воды перед УОО должно быть таким, чтобы в процессе очистки не образовывались на поверхности мембраны осадки, и в первую очередь соли жёсткости – CaCO_3 , CaSO_4 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Для их предотвращения используется ряд технологий предварительной обработки исходной воды перед УОО [1].

Были рассмотрены технологии прямоточного и противоточного На-катионирования, как всего потока исходной воды перед УОО, так и только его части. Технологический расчёт этих технологий проводился с использованием компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» [2], в ходе которого определялись технологические, экологические и технико-экономические показатели работы ВПУ.

Анализ результатов показал, что обработка исходной воды на На-катионитных фильтрах позволяет надёжно обеспечивать низкую вероятность образования отложений солей жёсткости и позволяет поддерживать высокий гидравлический КПД УОО. Однако, этот способ по сравнению с другими технологиями обработки исходной воды перед УОО, требует установки дополнительной ступени ионитных фильтров, характеризуется значительной потребностью в катионите и в товарной поваренной соли. Сброс образующегося при эксплуатации этих фильтров жёсткого стока ухудшает экологические показатели ВПУ.

Наихудшими показателями работы ВПУ с УОО, характеризуется технология прямоточного На-катионирования. Обработка на ионитных

филтрах части потока исходной воды перед УОО уменьшает потребность в поваренной соли, что расширяет границы применимости метода ионообменного умягчения.

Библиографический список

1. **Бушуев, Е.Н.** Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева; ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". –Иваново:, 2017. –144 с.
2. **Бушуев, Е.Н.** Использование компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» для проведения технологического расчета и анализа технологий обессоливания воды на ТЭС и АЭС / Е.Н. Бушуев Е.Н., А.Ю. Жолобова // Вестник ИГЭУ. –2024. – №. 4. –С. 5-14.

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

ЗАМЕЩЕНИЕ ИМПОРТНЫХ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ НА АЭС

Замещение импортных ионообменных смол является актуальной проблемой для АЭС России из-за ряда факторов:

- зарубежные поставки ионообменных смол оказались в уязвимом положении из-за санкций, геополитических изменений и нестабильности рынков;

- внедрение отечественных ионитов сможет обеспечить соответствие специфическим требованиям, получить продукцию высокого качества и адаптировать под конкретные задачи;

- отечественные иониты могут привести к новым технологиям, которые улучшат производительность и эффективность обработки воды.

Для АЭС рекомендованы к применению ионообменные смолы отечественного производства ООО ПО «ТОКЕМ» – сорбенты, предназначенные для получения воды высокой степени чистоты. Они применяются в схемах спецводоочистки для контуров с радиоактивным теплоносителем, а также для получения обессоленной воды с параметрами, соответствующими требованиям атомной энергетики.

На Калининской АЭС были проведены исследования на разделяемость ионитов, используемых в схеме подготовки воды для основного цикла в двухслойном анионитном фильтре, работающем по технологии UPCORE:

По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

- ТОКЕМ-840 С1 и ТОКЕМ-320У(М) (свободное основание-С1), ТОКЕМ-841 С1 и ТОКЕМ-320У(М) (свободное основание-С1) не разделяются, смесь выглядит однородной;

- качество разделения ТОКЕМ-840 ОН и ТОКЕМ-320У(М) ОН, ТОКЕМ-841 ОН и ТОКЕМ-320У(М) ОН близко к качеству разделения смол DOW в С1-форме;

- ТОКЕМ-841 С1 и ТОКЕМ-340 (свободное основание-С1), ТОКЕМ-841 ОН и ТОКЕМ-330 ОН хорошо разделяются как в товарной форме, так и после регенерации, видна четкая граница. Визуально поведение данной пары анионитов аналогично поведению Amberlite HPR 4200 С1 и Amberlite HPR 9500.

Таким образом, для проведения дальнейших опытно-промышленных испытаний в анионитном фильтре с послышной загрузкой можно рекомендовать пару ТОКЕМ-841 и ТОКЕМ-340.

*П.В. Смирнова, студ.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ СХЕМ ХИМИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ С ПРЯМОТОЧНЫМИ И ПРОТИВОТОЧНЫМИ ФИЛЬТРАМИ

Н-ОН-ионирование природной воды широко используется для получения обессоленной воды на действующих водоподготовительных установках ТЭС и АЭС. В настоящее время широко проектируются и внедряются установки водоподготовки на базе установок обратного осмоса. При этом Н-ОН-ионирование маломинерализованных вод остаётся надёжным и наименее затратным способом получения обессоленной воды для восполнения потерь водного теплоносителя. К основным недостаткам химического обессоливания на базе прямоточных фильтров относят: значительные расходы кислоты и щёлочи на регенерацию, а также воды на собственные нужды [1].

Был выполнен технологический расчёт схем химического обессоливания на базе прямоточных и противоточных ионитных фильтрах при различном качестве обрабатываемой воды. На рис. 1 представлены результаты расчёта затрат на используемые при очистке воды химические реагенты в пересчёте на 1 м³ получаемой обессоленной воды в зависимости от минерализации обрабатываемой воды.

Применение противоточных технологий ионирования по сравнению с прямоточной, позволяет значительно снизить потребность в реа-

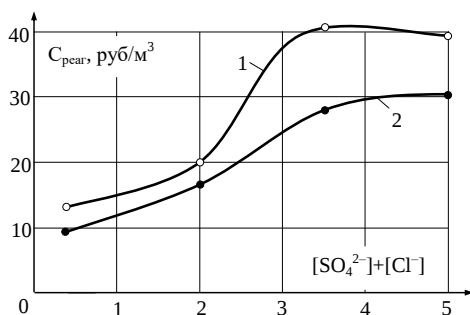


Рис. 1. Зависимость удельных затрат на товарные химические реагенты ($C_{\text{реаг}}$) от минерализации исходной воды ($[SO_4^{2-}] + [Cl^-]$, мг-экв/л) и схемы химического обессоливания:

1, 2 – на базе прямоточных и противоточных Н-ОН-ионитных фильтрах, соответственно

гентах, а также уменьшить расход воды на собственные нужды.

Библиографический список

1. Бушуев, Е.Н. Малоотходные технологии водоподготовки на ТЭС: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, М.Ю. Опарин ; ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". –Иваново:, 2010. –104 с.

*Ю.В. Тагунова, студ.; рук. В.Н. Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ДОЗ КОАГУЛЯНТА

В зимнее время при коагуляционной обработке холодной воды рекомендовано использование в качестве коагулянта гидроксихлоридов алюминия [1]. Этим уменьшается время гидролиза коагулянта, ускоряется образование гидроксида алюминия и достигается нужный эффект коагуляции.

При актуальной замене сульфата железа (II) хлоридом железа (III) в условиях известкования и коагуляционной обработки воды также достигается эффективная очистка воды от коллоидов.

Недостаток коагулянта приводит к ухудшению качества коагулированной воды. Избыточное дозирование кислотных коагулянтов увеличивает ионную нагрузку анионитных фильтров. По этой причине при работе осветлителя с изменяющейся гидравлической нагрузкой актуален оперативный контроль рабочей дозы коагулянта.

Нормативно обязательное определение рабочей дозы коагулянта по расходу его рабочего раствора или по изменению общей щёлочности воды при её коагуляционной обработке характеризуется большой относительной погрешностью (от 20 до 25 % в условиях ТЭЦ Нечерноземья). Оптимальным, проверенным нами способом оперативного контроля рабочей дозы хлоридного коагулянта, является её определение по разности концентраций хлоридов в исходной и в коагулированной воде, которые могут быть определены объёмным методом и (или) непрерывно потенциометрически с относительной погрешностью до 10 %. Хлорид-селективные электроды используются в диапазоне pH_{25} вод от 2 до 11 и по цене доступны. Конкурирующие анионы, мешающие потенциометрическому определению хлоридов, отсутствуют в исходных водах ТЭС. Хлоридомер интегрируется в АСУ аппаратами водоподготовки и может быть использован для контроля истощения слабоосновного анионита по «проскоку» хлоридов.

Составлено уравнение измерения дозы хлоридного коагулянта, учитывающее массовую долю активного вещества (Al_2O_3 Fe_2O_3) и хлоридов в товарном коагулянте, и проверена его применимость в условиях опытно-промышленных испытаний на ТЭС.

Библиографический список

1. Драгинцев В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. Научное издание. М., ППП «Типография «Наука», 1205. 576 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАГЕНТНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ ПЕРЕД УСТАНОВКОЙ ОБРАТНОГО ОСМОСА

Водоподготовительные установки на основе установок обратного осмоса (УОО) довольно широко проектируются и внедряются на ТЭС и АЭС. При очистке воды возможно образование на поверхности обратноосмотической мембраны минеральных осадков, наиболее вероятным из которых является $CaCO_3$. Для предотвращения его образования в исходную воду перед УОО чаще всего вводят растворы химических

реагентов – серной (соляной) кислоты или антискалянта [1]. При добавлении в обрабатываемую воду кислоты происходит смещение углекислотного равновесия, в ходе которого карбонаты переходят в гидрокарбонаты, в результате чего уменьшается вероятность образования CaCO_3 . Механизм действия антискалянтов основан на подавлении активных точек роста кристаллической решётки осадкообразователей и замедления скорости образования зародышей кристаллов.

Был выполнен технологический расчёт технологий реагентной обработки исходной воды перед УОО с использованием компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» [2], в ходе которого определялись технологические, экологические и технико-экономические показатели работы водоподготовительной установки. Доза добавляемой кислоты задавал так, чтобы расчётное значение индекса Ланжелье LSI в концентрате УОО было близко, но не превышало предельно-допустимого значения.

Анализ полученных результатов показывает, что по сравнению с другими методами, обработка исходной воды перед УОО реагентами характеризуются наименьшей потребностью в химических реагентах и воды на собственные нужды, а также высокими экологическими показателями. Однако, при использовании антискалянта нужно учитывать границы его применимости и его токсичность.

Библиографический список

1. Бушуев, Е.Н. Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева; ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина". – Иваново:, 2017. –144 с.
2. Бушуев, Е.Н. Использование компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» для проведения технологического расчета и анализа технологий обессоливания воды на ТЭС и АЭС / Е.Н. Бушуев Е.Н., А.Ю. Жолобова // Вестник ИГЭУ. –2024. – № 4. – С. 5-14.

*Д.К. Бобров, студ., рук. Б.М. Ларин, д.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ВХР СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТЗВ-1200-2АУЗ НА АЭС

На энергоблоках АЭС с ВВЭР-1200 водяное охлаждение турбогенератора типа ТЗВ-1200-2АУЗ включает систему охлаждения статора (СОС) и систему охлаждения ротора (СОР). Требования к воде для

СОР существенно ужесточены (табл. 1). В этих условиях химический контроль нормируемых показателей и управление ВХР требуют дополнительных исследований на базе непрерывных измерений УЭП и рН циркуляционной и добавочной воды с расчётом дозы подщелачивающего агента - едкого натра.

Таблица 1. Нормы качества циркуляционной воды СОО ТГ ТЗВ-1200-2АУЗ

№	Показатели	Размерность	СОР	СОС
1	УЭП	мкСм/см	$\leq 1,43$	$< 5,0$
2	Водородный показатель рН	ед. рН	$6,5 \div 9,0$	$6,5 \div 9,0$
3	Массовая концентрация кислорода	мкг/дм ³	≥ 2000	≥ 2000
4	Массовая концентрация меди	мг/дм ³	$\leq 0,4$	$\leq 0,4$

ИГЭУ располагает научно-практической разработкой, подтвержденной патентом на изобретение РФ №2578045 «Способ автоматического регулирования величины рН циркуляционной воды контура охлаждения статора электрогенератора паровой турбины», опубликованного 20.03.2016.

В работе выполнен расчёт УЭП и рН при дозировании NaOH в циркуляционную воду. Результаты расчетов показали, что при использовании глубокообессоленной воды для восполнения потерь в контуре охлаждения со значением $pH_{исх}$ меньше 6,5, что часто имеет место, поддержание нормативных значений УЭП (менее 1,43 мкСм/см) и рН ($6,5 \div 9,0$) при дозировании NaOH возможно, если добавочная вода имеет рН в диапазоне $5,6 \div 6,5$ и УЭП менее 1 мкСм/см. Управление ВХР в системе охлаждения возможно при непрерывных измерениях в циркуляционной воде УЭП и рН с расчётом дозировки NaOH по программе ИГЭУ [1].

Библиографический список

1. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ Ларин А.Б., Савинов М.П., Ломакин А.И. №2025616409 от 20.03.2024

СЕКЦИЯ 3

ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

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

Секретарь
к.т.н., **Ярунина Н.Н.**

К.О. Маканин, студ.; рук. Н.Н. Ярунина, к.т.н., доц.

(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСТЕКЛОВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Химия является неотъемлемой частью каждого этапа ядерного топливного цикла, от добычи урана до утилизации отходов ядерного топлива. Её вклад особенно значителен в решении сложной проблемы безопасного обращения с радиоактивными отходами.

Стойкость стекол в сочетании со способностью удерживать почти все радионуклиды, простотой технологии и высоким коэффициентом сокращения объема открывает широкие перспективы применению остекловывания для хранения и утилизации радиоактивных отходов.

Варят стекла с радиоактивными отходами в специальных печах при высоких температурах (около 1050...1150°C). Простота технологии в том, что отходы варят вместе со стеклообразующими добавками, так что в результате варки получают достаточно прочное стекло, которое можно долго хранить, затем транспортировать и, наконец, надежно захоранивать. Стекло прекрасно удерживает в своем составе почти все элементы таблицы Менделеева либо растворенными в структуре стекла, либо в виде микровключений – в зависимости от растворимости.

Уменьшение объема отходов в несколько раз при остекловывании происходит, потому что в стекле удерживается только наиболее радиоактивный окисный остаток отходов, включенный в структуру стекла.

Захоранивают остеклованные ядерные отходы в специальных хранилищах. Для высокоактивных ядерных отходов приемлемо захоронение в глубокие геологические формации, на глубины примерно 300 м и более. Так что остеклованные высокоактивные отходы временно хранят в хранилищах наземного типа до тех пор, пока не построят глубинные. Остеклованные низко- и средне-активные отходы, согласно рекомендациям МАГАТЭ, можно захоранивать в приповерхностных хранилищах. Стекло в них из-за своей высокой коррозионной стойкости не оказывает влияния на грунтовые воды ни химическими, ни радиоактивными токсикантами. Так, в процессе реализации многолетней программы натуральных испытаний на ГУП МосНПО «Радон» установлено, что даже в простой траншее из 190 кг радиоактивного стекла за 300 лет в грунтовую воду может попасть всего 20 кБк радионуклидов, то есть активность, близкая к природной радиоактивности человеческого тела.

На сегодняшний день стекло – наилучший материал для иммобилизации радиоактивных отходов как технологически, так и по надежности удержания радионуклидов.

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

ХИМИЯ В ПЕРЕРАБОТКЕ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА.

Ядерное топливо, которое более неспособно эффективно поддерживать цепную реакцию в ядерных реакторах, называется отработанным ядерным топливом (ОЯТ). ОЯТ, в отличие от свежего, имеет значительную радиоактивность за счёт содержания большого количества продуктов деления. Если ОЯТ вовремя не утилизировать (переработать), то это может привести к негативным последствиям для здоровья людей и окружающей среды.

Цель работы – изучение материалов по способам переработки ОЯТ и на основе этого - предположить новый способ переработки ОЯТ. Поводом для проведения исследований послужила подготовка к выбранной профессии. Данная проблема является актуальной, т.к. с каждым годом растёт количество выработанной энергии с помощью ядерного топлива в соответствии с потребностями и, в связи с этим, растёт количество ОЯТ. С помощью переработки ядерного топлива человечество не только уменьшит общее количество радиоактивных отходов, но и уменьшит использование природного урана с помощью повторного использования некоторых элементов ОЯТ. Перед началом исследований была выдвинута гипотеза, что в настоящее время требуются новые способы переработки ОЯТ, так как используемые сегодня способы переработки образуют большое количество вторичных радиоактивных отходов и являются весьма дорогими. Исследования проводились на базе различных интернет-источников.

Рассматриваемые способы переработки и согласованные с ними теоретические предположения изучались по методикам, изложенным в литературе. По результатам работы сделаны выводы, что развитие переработки ОЯТ позволит сохранить окружающую среду, здоровье человека и усовершенствовать выработку энергии.

Библиографический список

1. Бекман И. Н. Радиохимическая переработка ОЯТ. М., 2017. 266 с.
2. Очкин А. В. Проблемы переработки отработавшего топлива современных энергетических реакторов // А. В. Очкин Теоретические основы химической технологии 2014 Т. 48, № 1 С. 37-42.

*Е. М. Смирнов студ.; рук. Н.Г. Иванова, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС НА ЭКОЛОГИЮ

Со временем все атомные энергетические станции приходят к тому, чтобы прекратить свою работу. Поэтому ещё до строительства АЭС разрабатывается план вывода её из эксплуатации.

Из-за малого опыта в сфере вывода из эксплуатации АЭС остро стоят несколько вопросов: схема вывода из эксплуатации АЭС, стоимость этой процедуры, время, необходимое для вывода. Но довольно редко поднимается вопрос об экологической безопасности подобного процесса.

Поводом для проведения исследований послужила подготовка к выбранной профессии.

Исследования проводились на базе различных интернет - источников.

Мною выдвинута гипотеза, что загрязнение местности непосредственно может происходить не только из-за отработанного топлива, но также от загрязнённых радиоактивными нуклидами конструкционных материалов, техники, используемой как при работе АЭС, так и при выводе её из эксплуатации, от работы техники, и от загрязненной радиоактивной пылью.

Рассматриваемые в работе вопросы являются актуальными, так как в России планируется провести вывод из эксплуатации множества энергоблоков, и экологичность данного мероприятия должна учитываться. Моё исследование позволит определить экологические риски при выводе из эксплуатации АЭС, факторы, которые могут негативно воздействовать на окружающую среду, возможные меры борьбы с ними.

Библиографический список

1. Кузнецов В. М. Вывод из эксплуатации объектов атомной энергетики: уч.пос./ В. М. Кузнецов, Х. Д. Чеченов, В. С. Никитин. - М. : Восход-А, 2009. 627с.
2. Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И. Материаловедение: Учеб. для вузов. Изд. 4-е, доп. – СПб.: Химиздат, 2007. 784с.

*А.М. Бердаков, студ.; рук. Л.Н. Хрипкова, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВОДОПОДГОТОВКА НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ В ИВАНОВЕ

Водоподготовка – обязательный процесс в промышленном производстве. ТЭЦ объединяет в себе 2 функции: нагрев и подача воды в жилые дома и на предприятия, производство электрической энергии.

Первичный источник воды зачастую населён микроорганизмами и загрязнён различными соединениями (примесями), таким образом использование подобной воды в технических целях становится невозможным из-за загрязнения и дальнейшего возникновения проблем в работе котлов и турбин. Поэтому перед применением воды обязательно проводят водоочистку: выявление состава воды с помощью химического анализа и дальнейшая очистка. Водоочистка проходит в четыре этапа.

Первый этап, при нём используются фильтры грубой очистки, они представляют собой очистительный элемент с крупной сеткой, способной задержать крупную грязь.

Второй этап, в нём избавляются от солей жёсткости. Обычно умягчение происходит посредством ионных установок, суть которых заключается в ионозамещении атомов магния, кальция на ионы натрия.

Третий этап заключается в осветлении воды, в основном используются химические способы очистки воды. Для смягчения воды на станциях применяются различные методы: реагентный, ионозамещение и магнитное очищение. Так как в системах используется метод с добавлением химических веществ, сбрасываемая вода имеет свои нормы по составу и концентрации реагентов.

Четвёртый этап – удаление растворённых газов: кислород, углекислый газ и другие. Они либо изначально присутствуют в воде, либо появляются в процессе фильтрации. За удаление газов отвечает система декарбонации, после дегазирования воду можно использовать.

Библиографический список:

1. Вагнер-урал Водоподготовка на ТЭЦ: назначение и основные методы. URL: https://ivanovo.vagner-ural.ru/o_kompanii/stati-po-vodoochistke/vodopodgotovkakotelnich/ (дата обращения: 28.01.2025)

Г.В. Рябинин, сту.; рук. Л.Н. Хрипкина, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Одним из наиболее передовых методов фильтрации воды являются мембранные. Данная очистка воды использует полупроницаемые мембраны, изготавливаемые из различных материалов, содержащие множество мельчайших пор. После очистки органические, механические примеси, а также бактерии и вирусы остаются снаружи, а дальше проходит только чистая вода.

Названия и сущность мембранной фильтрации представлены в таблице.

Таблица –Методы мембранной фильтрации и их сущность

1.Мембранная очистка воды на основе обратного осмоса.	Разделяет растворы без изменения агрегатного состояния воды.
2. Нанофильтрация	Отфильтровывает более крупные частицы нежели обратный осмос. Их размер измеряется нанометрами.
3. Ультрафильтрация	Обессоливания воды по величине задерживаемых частиц после нанофильтрации.
4. Микрофильтрация	Отфильтровывает мелкие взвешенные частицы, цисты простейших микроорганизмов, большие бактерии, коллоиды, эмульсии и водоросли.
5. Диализ	Основан на факте прохождения разными веществами с неодинаковой скоростью через мембрану фильтра.
6. Электродиализ	Усовершенствованный метод диализа. Устройство (диализатор) дополнительно оснащается камерой с электродами.
7. Электродеионизация	За счёт разности потенциалов постоянного напряжения, которое есть по обе стороны мембраны, заполненной ионообменной смолой. Получаемая вода считается деионизованной.

Мембранная очистка показывает себя как передовой метод очистки воды, определяет важность и актуальность изучения, а также его развития для дальнейшего решения проблем, связанных с чистой водой в различных регионах.

Библиографический список

1. Мембранные технологии очистки воды. URL: <https://diasel.ru/article/chto-takoe-membrannaya-ochistka-vody/> (дата обращения: 27.01.2025)

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

На современном этапе важнейшей задачей является повышение энергоэффективности производства, передачи и использования энергии, а это возможно лишь при условии внедрения новых эффективных, более надежных и долговечных материалов, оборудования и технологий. Одним из перспективных направлений решения проблем обеспечения электрической энергией потребителей в различных, в том числе и сложных условиях, являются топливные элементы (ТЭ), которые представляют собой устройства для превращения энергии топлива в электрическую энергию и частично в теплоту без использования процесса его сжигания. Общим преимуществом ТЭ перед другими преобразователями энергии является высокая эффективность, отсутствие движущихся, а значит и трущихся частей, тихая работа и практическое отсутствие вредных выбросов в окружающую среду (катодный продукт – чистая вода).

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) – наиболее перспективный тип источников энергии данного вида, потому что они не нуждаются в дорогом катализаторе (платине) и значительно более устойчивы к загрязнению топлива и универсален по отношению к видам используемых горючих газов по сравнению с другими типами топливных элементов.

ТОТЭ целесообразно использовать в крупных (10-100 МВт) гибридных энергоустановках на природном газе и продуктах газификации угля с эффективностью 60-70%, в том числе с возможностью улавливания CO_2 , а также в установках для децентрализованного энергоснабжения широкого диапазона мощностей. Мощность топливных элементов может быть увеличена простым добавлением отдельных блоков, при этом КПД не меняется, то есть большие установки столь же эффективны, как и малые.

Основными трудностями технологий ТОТЭ в настоящее время являются высокая стоимость и низкий ресурс батарей топливных элементов. На решении этих проблем в настоящее время сосредоточены большие исследовательские усилия по всему миру, направленные на совершенствование производства наноструктур электродно-электролитной сборки и разработку наиболее рациональных конструкций ТОТЭ.

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

ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛА И БЕТОНА В СФЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ

Любые сооружения подвергаются негативному воздействию климатических и технологических факторов. Между тем длительная бесперебойная и безопасная работа – необходимое условие для всех сооружений. Поэтому для объектов энергетики одновременно предъявляются высокие требования и к безопасности покрытия и сроку службы этих объектов. Отсюда необходимым этапом строительства или реконструкции объектов энергетики, в том числе и атомной, являются работы по антикоррозионной защите металлических и бетонных конструкций.

Наиболее распространенный вариант защиты от коррозии – нанесение слоев защитных покрытий, чаще всего это специальная краска, обладающая повышенными эксплуатационными и технологическими характеристиками, что достигается благодаря использованию в их составе:

- высокоэффективных антикоррозионных пигментов, таких как цинковый порошок (протекторная защита), фосфат цинка (ингибирующая защита), алюминиевая пудра и «железная» слюда (барьерная защита);
- химически- и атмосферостойких полимеров: эпоксидных и полиуретановых смол;
- наполнителей со специальными эффектами и разнообразных вспомогательных добавок, предназначенных для оптимизации технологических свойств материалов.

На сегодняшний день, промышленные покрытия различного назначения для комплексной защиты объектов во всех сферах энергетики, а также объектов нефтегазового комплекса предлагают различные компании, например, АО НПХ «ВМП» (г. Екатеринбург), НПО «ФОКУС» (г. Казань), ООО «ЛКМ-снаб» официальный дистрибьютор Jotun Group (г. Сандефьорд, Норвегия), Belzona с дистрибьюторами в России и другие. Все эти организации предлагают различные покрытия для металлических и бетонных конструкций, которые работают в широком спектре агрессивных сред и способны обеспечить долговременную защиту активов предприятия на срок более 25 лет, также осуществляя поддержку, техническое сопровождение и контроль производимых подрядчиком работ.

СЕКЦИЯ 4

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Председатель

д.т.н., доцент **Бушуев Е.Н.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Корочкина Е.Е.**

**И.В. Колбашов, студ.; рук-ли Е.Е. Корочкина, к.т.н., доц.,
И.Н. Пахотина, к.т.н., доц. (ИГЭУ, ИВГУ, г. Иваново)**

ВЛИЯНИЕ НА ПЕРЕГРЕВ ГИДРОЦИЛИНДРА ЭКСКАВАТОРА РЕГЕНЕРИРОВАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА

Основным силовым элементом в гидравлической системе экскаватора является гидроцилиндр. Рабочей жидкостью в гидросистеме является моторное масло. Данная рабочая жидкость имеет ряд преимуществ, одним из которых является то, что масло служит одновременно и смазкой элементов гидросистемы. В гидросистеме экскаватора может циркулировать до 15 литров масла. Моторное масло обладает достаточно высокой стоимостью. Отработанное моторное масло требует дополнительных затрат по утилизации, чтобы не загрязнять окружающую среду. Поэтому рационально провести регенерацию моторного масла и использовать его повторно.

Температура при которой работает моторное масло в гидросистеме может быть от 60 до 80 °С, а давление 10 МПа и выше. Это влияет на поршень гидроцилиндра. Он может нагреваться и воздействовать на стенки гидроцилиндра из-за сил трения. Ранее нами были проведены исследования влияния регенерированного моторного масла на тепловой и гидравлический режим работы гидросистемы экскаватора [1].

Нами была разработана математическая модель работы гидроцилиндра в пакете прикладных программ. В которой поршень омывается новым и регенерированным моторным маслом с рабочей температурой 80 °С. Данная модель симулирует процесс теплопроводности в поршне гидроцилиндра при граничных условиях III рода [2]. В процессе моделирования было установлено, что поршень гидроцилиндра при работе на регенерированном моторном масле нагревается на 1 °С сильнее.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что поршень гидроцилиндра при работе на регенерированном масле нагревается на 3,5 % сильнее, чем при работе на новом моторном масле.

Библиографический список

1. **Исследование** эффективности теплообмена и работы гидропривода экскаватора при использовании регенерированного масла / Е.Е. Корочкина, И.Н. Пахотина // Энергетические системы. – Белгород: ФГБОУВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». – 2023. – №2. – С. 67-74.

2. **Исследование** нестационарной теплопроводности в ПВК COMSOLMULTIPHYSICS: методические указания / В.В. Бухмиров, Е.Е. Корочкина, А.К. Гасков – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2019.

*Н.С. Березина, С.С. Березина, студ.;
рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION ДЛЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ

Программный комплекс FlowVision[1] – это российский пакет для многодисциплинарного моделирования трехмерных течений жидкости и газа, созданный компанией ТЕСИС. Позволяет моделировать: внутренние течения и внешнее обтекание; излучение и теплообмен; химические реакции и горение; многофазные течения (с частицами или с поверхностью раздела фаз); взаимодействие жидкости и конструкции.

FlowVision основан на численном решении трехмерных стационарных и нестационарных уравнений динамики жидкости и газа, включающих в себя законы сохранения массы, импульса, уравнения состояния. Для расчета сложных движений жидкости и газа, сопровождаемых дополнительными физическими явлениями, такими, как, турбулентность, горение, контактные границы раздела, пористость среды, теплоперенос, в математическую модель включаются дополнительные уравнения, описывающие эти явления.

FlowVision использует конечно-объемный подход для аппроксимации уравнений математической модели. Ключевые особенности и преимущества FlowVision: высокая точность; быстрый результат; импортозамещение.

FlowVision построен на базе единой интегрированной среды, в которой объединены препроцессор, решатель и постпроцессор. Назначением Препроцессора является импортирование геометрии расчетной области из систем геометрического моделирования, задание модели среды, расстановка начальных и граничных условий, генерация или импорт расчетной сетки и задание критериев сходимости. Затем управление передается решателю, который производит процесс счета.

Результаты расчета непосредственно во время счета доступны для постпроцессора, в котором производится обработка данных – визуализация результатов и сохранение их во внешние форматы данных. Данное построение позволяет проводить моделирование и одновременно, визуализируя значение любой газодинамической переменной, анализировать результаты расчета, менять граничные условия и параметры математической модели.

Библиографический список

1. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision. Версия 2.5.4. Руководство пользователя. – М: ООО «Тезис», 2008. 285 с.

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

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ТЕПЛОВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ

Современные системы учёта тепловой энергии требуют высокой степени автоматизации и достоверности данных. Как правило, передача показаний с тепловычислителей требует личного посещения места установки счетчика, что не всегда удобно и приводит к большим временным затратам при удалённом расположении объекта. Введение дистанционного сбора данных позволяет решить эту проблему.

Цель работы – создание удобного мобильного приложения, которое позволяет получать информацию о потреблении тепла без необходимости выезда на объект и ручного снятия показаний.

В рамках данной работы разработано мобильное приложение на языке программирования Python и специальный модуль для передачи данных с тепловычислителя на основе Arduino и ESP8766. Программа позволяет подключать несколько тепловычислителей в одном приложении и имеет интуитивно понятный и удобный интерфейс. Мобильное приложение дистанционно считывает данные тепловычислителя, имеет доступ к архиву данных прибора, а также присылает уведомление пользователю о нештатных ситуациях на узле учета.

Для подключения нового прибора необходимо присоединить разработанный нами модуль к тепловычислителю. Затем в приложении нажать кнопку «Добавить новый прибор» и ввести IP-адрес модуля. Приложение автоматически через защищённый протокол MQTT устанавливает связь с модулем, который установлен на тепловычислителе. Чтобы получить данные с тепловычислителя необходимо нажать на кнопку «Сбор данных» и выбрать период, за который надо считать данные с прибора. Все считанные архивы хранятся во вкладке «Архивы».

Кроме этого, приложение позволяет анализировать потребление тепловой энергии. При резком увеличении расхода, приложение присылает уведомление пользователю о необходимости устранить проблемы с утечкой теплоносителя. Как показал расчет для пятиэтажного жилого дома экономия за счет ликвидации утечек может составлять до 20 млн. руб. в год.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОНВЕКТИВНОЙ ТЕПЛООТДАЧИ В VBA EXCEL

В данной научной работе был проведен анализ влияния определяющих параметров на коэффициент теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции с использованием реализованного в программном комплексе VBA Excel алгоритма решения задач конвективного теплообмена. Были построены графики зависимости коэффициента теплоотдачи от диаметра обтекаемой трубы, скорости течения подвижной среды, а также температурного перепада между поверхностью и флюидом.

В представленном программном комплексе предусмотрен расчет коэффициента теплоотдачи, тепловых потоков и количества переданной теплоты для следующих видов движения теплоносителя и объектов теплообмена [1]:

- 1) движение теплоносителя внутри каналов и труб произвольной формы;
- 2) внешнее продольное обтекание пластины;
- 3) внешнее поперечное и продольное обтекания труб;
- 4) внешнее обтекание коридорных и шахматных трубных пучков.

Для расчета пользователю необходимо задать условия однозначности, включающие в себя форму тела и его геометрические характеристики, температуры текучей среды и контактируемой с ней твердой поверхности, тип тепло- или хладоносителя, его массовый расход или скорость течения. Флюидом в данной программе может выступать воздух, вода, трансформаторное масло, масла марок МК и МС-20, жидкий аммиак и дымовые газы.

Для соответствующих объектов предусмотрена возможность учета особенностей теплообмена в виде поправок на гидродинамическую стабилизацию потока на первоначальном участке движения теплоносителя; на угол атаки набегающего потока; на сужение потока в самом узком сечении канала и на взаимное расположение труб в пучке.

При желании пользователь может редактировать алгоритм программы и подстраивать ее под себя.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. **Свидетельство** о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024662527/ Т.Е. Созинова, Д.А. Смирнов. – Заявка №2024660783/69. Дата поступления 15 мая 2024 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 мая 2024 г.

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В контексте энергосбережения поиск и внедрение возобновляемых источников энергии приобретает все большее значение. Использование солнечной энергии, одного из наиболее доступных и экологически чистых ресурсов, представляется перспективным направлением для решения задач энергообеспечения, в частности, для горячего водоснабжения. Солнечный коллектор, преобразующий солнечную энергию в тепловую, является эффективным и сравнительно простым решением для обеспечения горячей водой жилых объектов.

Данная работа посвящена оценке эффективности использования солнечного коллектора для горячего водоснабжения. Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации существующих систем горячего водоснабжения, снижения энергозатрат и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду.

Эффективность работы *солнечного коллектора* зависит от окружающих условий. Упрощённый тепловой расчет солнечного коллектора показал, что при начальной температуре воды 10 °С система способна нагреть воду от 40 до 70 °С зимой и до 100 °С летом в регионах с высокой интенсивностью солнечной инсоляции. Согласно СНиП 2.04.01– 85, суточный расход воды для семьи из четырех человек 480 л/сут. Для обеспечения такого количества горячей воды в сутки в Ивановской области потребуется солнечный коллектор площадью 8,1 м² летом и 49,4 м² зимой. Для южных регионов (г. Сочи, Астрахань, Симферополь) достаточно будет солнечного коллектора площадью 5,9-6,3 м² летом и 22,5-36,4 м² зимой.

Таким образом, для обеспечения семьи горячей водой в холодное время года в Ивановской области потребуется 14 солнечных коллектора, в то время как летом достаточно трех. На юге России летом потребуется 2 солнечных коллектора для нагрева заданного количества воды. Также был выполнен расчет срока окупаемости солнечного коллектора для разных регионов России. В результате расчёта установлено, что для Ивановской области солнечный коллектор окупится за 10 лет, а для южных регионов за 2-3 года. Анализ проведенных расчетов позволяет сделать вывод, что использовать солнечную энергию для горячего водоснабжения наиболее эффективно в южных регионах нашей страны.

В.Э. Зинуров, к.т.н., А.Н. Чадаев, асп.
(КГЭУ, г. Казань)

ТЕПЛОВОЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ

На сегодняшний день актуальной задачей является обеспечение стабильного энергоснабжения, особенно при колебаниях потребления и генерации электроэнергии. Одним из перспективных решений является хранение тепловой энергии в высокотемпературных накопителях.

В ходе исследований разработана модель теплового накопителя энергии [1]. Для аккумулирования тепла используется графит, окружённый двумя контурами теплоизоляции (вольфрамовые экраны и минеральная вата). При экстремально высоких температурах основная часть теплопередачи происходит за счёт лучистого теплообмена.

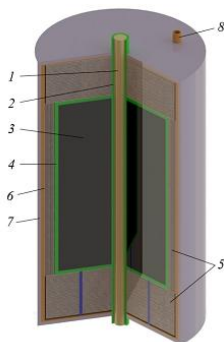


Рис. 1. Модель теплового накопителя энергии: 1 – высокотемпературный жидкометаллический теплоноситель; 2 – цилиндрический канал; 3 – твердотельный теплоаккумулятор; 4 – контейнер; 5 – экраны; 6 – корпус; 7 – теплоизоляция; 8 – патрубок

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

Библиографический список

1. Чадаев А.Н., Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Абдуллина А.А. Оценка процесса переноса энергии в тепловом накопителе с высокотемпературным рабочим телом при его разрядке // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2024. Т. 24, № 4. С. 73-85.

Е.А. Сергеев, Е.О. Солодухин, М.А. Ратников, студ.;
рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ ПО РАЗДЕЛУ «ТЕРМО- ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА»

Раздел «Термодинамические свойства воды и водяного пара» занимает центральное место при изучении курса «Техническая термодинамика». От качества освоения этого раздела зависит успеваемость студентов на последующих курсах.

В данной работе создан автоматизированный комплекс, предназначенный для самоподготовки студентов по разделу «Термодинамические свойства воды и водяного пара». Комплекс реализован в среде Microsoft Excel. Он состоит из уже решенных задач и задач для самостоятельного решения. Исходные данные задаются вводом трёх последних цифр номера зачётной книжки, тем самым создавая уникальный вариант. В ячейках промежуточных данных и ответа используются общепринятые формулы и закономерности по данному разделу. Для поиска нужных данных из таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара используются встроенные функции ИНДЕКС, ВПР и ГПР. В некоторых ячейках есть всплывающая подсказка, которая поможет устранить недопонимание студента в ходе решения задачи (рис. 1). Задачи имеют различный уровень сложности: от простых примеров на знание таблиц воды и водяного пара до расчета основных термодинамических процессов.

6. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА. ПРОЦЕССЫ ВОДЯНОГО ПАРА														
Исходные данные для задачи 6.24					ответы									
N_1	4	N_4	Начальное состояние пара	$m_{h,0}$, кг	p , бар	p_1 , бар	s_1 , кДж/(кг·К)	t_1 , °C	q , кДж/кг	ℓ , кДж/кг	Δh , кДж/кг	Δs , кДж/(кг·К)	Δh , кДж/кг	
9	9	1	Водяной пар	1,25	р=const	5	3,1	220	1731,487	175,26	1556,222	4,05	1731,49	
Активировать здесь														
				s_1'' , кДж/(кг·К)	s_1' , кДж/(кг·К)	s_1	h_1' , кДж/кг	h_1'' , кДж/кг	h_1 , кДж/кг	v_1' , м³/кг	v_1'' , м³/кг	v_1 , м³/кг	w_1 , кДж/кг	u_1 , кДж/кг
				1,5604	6,8215	0,25	640,1	2748,5	1166,913	0,001093	0,37481	0,094471	1119,65	0,445
				промежуточные данные				u_1 , кДж/кг	u_1'' , кДж/кг	u_1' , кДж/кг	u_1 , кДж/кг	u_1'' , кДж/кг	u_1' , кДж/кг	u_1 , кДж/кг
								2898,4	7,1491	2675,90				

Рис. 1. Пример решения задачи на изобарный процесс

Разработанный автоматизированный комплекс может быть полезен для успешной самоподготовки студентов по курсу «Техническая термодинамика».

*Д.А. Долинин, к.т.н., доц., И.И. Светушков, асп.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ АЭРАЦИОННЫХ ФОНАРЕЙ НА СОСТОЯНИЕ МИКРОКЛИМАТА

Микроклимат – это состояние воздуха внутри помещения, которое оказывает влияние на состояние человека. Основными параметрами микроклимата являются – температура T , °C и относительная влажность W , %. Одним из средств для достижения установленных норм [1] являются аэрационные фонари, которые состоят из открывающихся элементов и обеспечивают естественную вентиляцию в помещениях.

Для определения влияния положения аэрационных фонарей на параметры микроклимата производственного помещения была проведена серия экспериментов. В турбинном отделении котлотурбинного цеха Ивановской ТЭЦ-2 16.01.2024 были полностью открыты аэрационные фонари в районе турбоагрегата №5. Максимальная влажность на начало измерений в 09:00 была зафиксирована на отметке 8.00м около турбоагрегата №5 и составила 91,9 % (что выше допустимой нормы в 60 % на 31,9 %). Максимальная температура вблизи участка с открытыми фонарями была зафиксирована около турбоагрегата №4 на отметке 8.00м. и составила 26,3 °C, что также является выше установленной нормы [1] на 5,3 °C. Последний замер был осуществлён 18.01.2024 в 00:00. Влажность около турбоагрегата №5, где было зафиксировано максимальное значение в 91,9 %, понизилась и составила 70,6 % (что также выше допустимой нормы на 10,6%) при повышении влажности наружного воздуха с 87,2 % до 95,3 %. Температура около турбоагрегата №4 на отметке 8.00м за время всего исследования снизилась с 26,3 °C до 24,7 °C (что выше допустимой нормы на 3,7 °C) при понижении температуры наружного воздуха с –3,4 °C до –15,2 °C.

Вывод. Экспериментальные исследования влияния аэрационных фонарей на микроклимат турбинного отделения Ивановской ТЭЦ-2 за период с 16 по 18 января 2024 года показали, что открытое положение аэрационных фонарей обеспечивает снижение температуры и влажности воздуха, способствуя приведению параметров микроклимата производственного помещения к нормативным значениям.

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.

*П.Д. Пиенникова, И.А. Смирнов, студ.;
рук-ли Д.В. Ракутина, к.т.н., доц., А.В. Пекунова, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО ТЕМЕ «ВЛАЖНЫЙ ВОЗДУХ»

Правильность определения термодинамических свойств влажного воздуха имеет важное значение при проектировании систем вентиляции, отопления и кондиционирования, а также при расчете таких технологических процессов как сушка, нагрев и охлаждение. В этих процессах рабочим агентом является атмосферный влажный воздух, свойства которого определяют с использованием таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара или по h, d -диаграмме.

В данной работе разработана база заданий для самостоятельного изучения курса «Техническая термодинамика» по теме «Влажный воздух». Задания разработаны по следующим разделам:

- 1) Основные характеристики влажного воздуха;
- 2) h, d - диаграмма атмосферного влажного воздуха;
- 3) Изображение процессов влажного воздуха в h, d -диаграмме.

Сначала студенты знакомятся с основными теоретическими положениями, необходимыми для решения задач по каждому разделу. Изучают пример решения типовой задачи. Далее студентам предлагается решить самостоятельно задачи на эту тему с подробным описанием последовательности действий.

Индивидуальные исходные данные для задач они получают по трем последним цифрам зачетной книжки в файле Excel. В этом файле также можно проверить правильность полученных промежуточных величин и результатов решения задач.

В файле Excel использованы общепринятые формулы и закономерности, используемые для расчета характеристик влажного воздуха [1]. Реализованные алгоритмы позволяют в зависимости от введенных данных найти требуемые величины. Расчет автоматически сопряжен с данными из таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара.

Разработанная база заданий может быть использованы студентами очной и заочной форм обучения для закрепления полученных знаний и подготовки к промежуточной аттестации по дисциплине «Техническая термодинамика».

Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 1, Учебн. пособие. ИГЭУ, 2006. 224 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ SMATH ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Техническая термодинамика является довольно сложной для изучения дисциплиной. При её освоении и практическом применении необходимо проводить разнообразные расчёты, в том числе с использованием справочных данных, а также строить графики термодинамических процессов. Всё это можно значительно упростить, если использовать математические пакеты, такие как, MathCAD, MatLab, Maple [1]. В настоящее время происходит постепенный переход от зарубежных программных средств к отечественным разработкам. Среди математических пакетов, позволяющих проводить алгебраические расчёты, наиболее перспективным является отечественный программный продукт SMath Studio (разработчик ООО «ЭсМат»). Эта программа является бесплатной для личного пользования.

При выполнении термодинамических расчётов приходится использовать множество справочных данных для определения теплофизических свойств веществ при различных параметрах состояния. Использование для этого бумажных справочников связано с высокими трудозатратами и часто требует применения метода одно- или двухпараметрической интерполяции.

Одной из особенностей программы SMath является возможность использования дополнительных библиотек (дополнений) которые позволяют расширить её применимость. Одной из таких дополнений является свободно распространяемая библиотека CoolProp Wrapper, которая содержит набор функций для определения термодинамических свойств различных веществ, используемых в промышленной теплоэнергетике и на ТЭС. Для определения термодинамических свойств воды, водяного пара, некоторых газов и их смесей также можно использовать библиотеку WaterSteamPro. Однако эта библиотека является платной и требует лицензирования.

Таким образом, математическая программа SMath обладает рядом отличительных особенностей, что позволяет использовать её в учебном процессе при проведении термодинамических расчётов.

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.

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

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ТЕП-
ЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Эффективная теплоизоляция является ключевым фактором в обеспечении энергоэффективности и снижении эксплуатационных расходов для теплоэнергетического оборудования. Определение оптимальной толщины теплоизоляции – это баланс между тепловыми потерями, стоимостью изоляционного материала, монтажных работ и потенциальной экономией энергии. Величина толщины теплоизоляции не может быть произвольной, т.к. в случае выбора большего значения увеличится стоимость всей работы, что экономически невыгодно предприятиям (в случае меньшего значения, изоляция теряет свои функции). Выбор толщины осуществляется расчётно-экспериментальным путём.

Ключевые параметры расчёта: рабочие температуры, общее теплосопротивление оборудования, коэффициент теплопроводности материала изоляции. Оптимальная толщина изоляции достигается путем минимизации совокупных затрат. Для этого был произведен расчет тепловых потерь, в которых определяется количество тепла, теряемого оборудованием за определенный период времени, для разных толщин изоляции. В расчётах применялись алгоритмы стационарной теплопроводности, учитывающие геометрию оборудования (плоская поверхность, труба, емкость). По результатам расчёта была создана математическая модель, позволяющая автоматизировать выбор оптимальной тепловой изоляции для теплоэнергетического оборудования при помощи специализированных пакетов прикладных программ.

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.

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

ОРГАНИЧЕСКИЙ ЦИКЛ РЕНКИНА

Цикл Ренкина на водяном паре является основным циклом работы паротурбинных установок, применяемых в современной теплоэнергетике. Он характеризуется высокой экономичностью и эффективно используется в энергетических установках большой мощности.

На промышленных предприятиях среди оборудования всегда имеются низкопотенциальные источники теплоты, например, геотермальные или солнечные установки, тепловые насосы, а также теплота, возникающая в результате промышленных процессов. С помощью средств утилизации теплоты теплоту можно использовать для обеспечения собственной генерации. Подвод греющего источника осуществляется в испарителе (для этого используется котёл-утилизатор). При температуре греющего источника менее 200–250 °С для преобразования тепловой энергии в механическую можно применять турбинную установку на базе органического цикла Ренкина (ОЦР) [1], в которой вместо воды применяются органические рабочие тела, с низкой температурой кипения, например, пентан, изобутан и т.д.

ОЦР характеризуется большей эффективностью при низких температурах теплоносителя по сравнению с традиционными паровыми циклами, что делает их особенно полезными для применения в тех областях, где традиционные технологии неэффективны.

Энергетические установки на базе ОЦР широко используются как в РФ, так и в мире. Совершенствование подобных установок осуществляется подбором оптимальных рабочих веществ и их смесей, схемных решений и оптимизация параметров их работы.

Не смотря на преимущества работы установок на базе ОЦР имеется и ряд недостатков – большая потребность в охлаждении конденсаторов (воздушных или водяных), металлоёмкость агрегатов, значительное влияние на атмосферу и гидросферу. Кроме того, для ОЦР характерна меньшая по сравнению с крупными паротурбинными установками эффективность, что обусловлено как параметрами их работы (более низкими температурами), так и свойствами применяемых рабочих тел.

Библиографический список

1. Добрыдnev, Д.В. Исследование влияния схемных решений на электрическую мощность турбоустановки модернизированного цикла Ренкина / Д.В. Добрыдnev, В.В. Папин, Р.В. Безуглов, Н.А. Ведмичев // Известия высших учебных заведений. Электро-механика. – 2024. – Т. 67, №2. – С. 108-123.

**В.В. Елисеев, маг.; рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАРОВОДЯНОГО СОСУДА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМПЕНСАТОРА ДАВЛЕНИЯ

Компенсатор давления (КД) – сосуд, работающий под давлением, который компенсирует изменения объёма воды в замкнутом контуре, вызванные колебаниями температуры. КД является ключевым компонентом первого контура АЭС с реакторами типа ВВЭР (рис. 1).

С целью повышения качества проведения экспериментов по оптимизации, разработана и применена математическая модель КД, представляющая собой термодинамическую модель пароводяной смеси [1, 2].

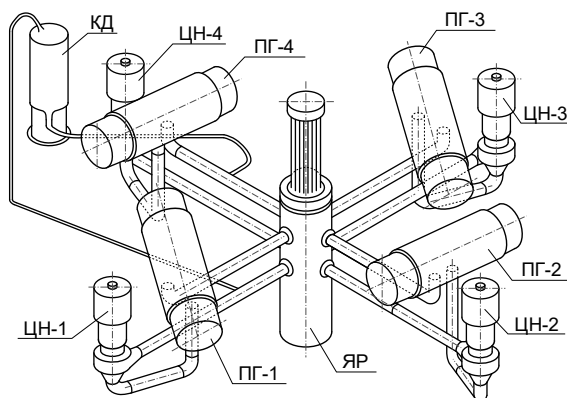


Рис. 1. Первый контур АЭС (энергоблок ВВЭР-1000)

В данной работе рассматриваются основные этапы и методы оптимизации режимов работы КД на основе математической модели.

Результаты исследования представляют интерес для специалистов в области компьютерного моделирования, термодинамики, ядерной энергетики и теории автоматического управления.

Библиографический список

1. Елисеев, В.В. Разработка универсальной математической модели физических процессов в пароводяном сосуде / В.В. Елисеев, Т.Е. Созинова // Проблемы современной теплоэнергетики: сборник трудов Междунар. науч.-техн. конф., Липецк, 06.12.2024 года. – Казань: ООО "Бук", 2024. – С. 89-96. – EDN GIVQKM.
2. Елисеев, В.В. Имитационная модель пароводяного компенсатора давления / В.В. Елисеев, А.Н. Никоноров // XIX всероссийская (XI междунар.) науч.-техн. конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Иваново, 14–16 мая 2024 года. – Иваново: ИГЭУ им. В.И. Ленина, 2024. – С. 12. – EDN EZNXTG.

*Н.М. Новиков, А.А. Кузьмин, студ.; рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГРАММА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПО ТЕМЕ «ХАРАКТЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ» ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИКИ»

Целью работы является модернизация прикладного программного обеспечения [1] для проведения дистанционных и очных занятий по теме «Характерные процессы изменения состояния идеальных газов».

На первом этапе создания программы был разработан интерфейс и алгоритмы задач расчёта изобарного процесса [1]. В данной работе добавлены задачи расчёта изохорного и изотермического процессов, включая соответствующие расчетные формулы и диаграммы.

В обновленной версии приложения:

- оптимизированы вычисления;
- улучшен пользовательский интерфейс для удобства работы студентов и преподавателей
- добавлены новые интерактивные задачи и тесты для проверки усвоенного материала.

В результате данной работы было расширено функциональное наполнение программного обеспечения. Это позволит студентам глубже изучить характерные процессы изменения состояния идеального газа, лучше понять их особенности и применять полученные знания на практике. Обновленная программа обеспечивает наглядное представление расчетов, автоматическую проверку решений и построение диаграмм, что делает процесс обучения более доступным и эффективным. Таким образом, данное программное обеспечение способствует улучшению качества преподавания дисциплины «Теоретические основы теплотехники» и повышает уровень подготовки студентов.

Библиографический список

1. Буланцев И.К., Подогова А.М. Компьютерная программа для дистанционного и очного обучения по дисциплине «Теоретические основы теплотехники». Энергия-2024. Том 1. Теплоэнергетика: Девятнадцатая всероссийская (одинадцатая международная) науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2024», г. Иваново: материалы конференции: В 6 т. – Иваново: ФГБОУВО "ИГЭУ имени В.И. Ленина".– 2024.– Т.1. –С.79 – 80.

*Е.С. Стукалова, А.М. Хитрова, студ.; рук. А.К. Гаськов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЯВНОЙ РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ

В веществе тепло распространяется за счёт процесса теплопроводности, который математически описывается дифференциальным уравнением теплопроводности (ДУТ). Одним из способов решения ДУТ являются численные методы, в которых применяются различные разностные схемы, которые в свою очередь, в зависимости от выбора расчётных параметров, подразделяются на устойчивые и неустойчивые.

Решение ДУТ по устойчивым схемам сходится при любых параметрах расчётной сетки, но при этом является более трудоёмким и использует больше вычислительных операций. Решение ДУТ на неустойчивых схемах требует соблюдения условий устойчивости при выборе параметров расчётной сетки, без учёта которых в расчётах могут накапливаться ошибки и искажаться их результаты. Соблюдение условий устойчивости разностных схем гарантирует точность и надёжность вычислений.

Целью данной работы является исследование условий устойчивости явной разностной схемы решения ДУТ для тел простой геометрической формы (неограниченной пластины, неограниченного цилиндра и шара).

Установлено, что для всех внутренних узлов разностной схемы для тел простой геометрической формы, при отсутствии в них внутренних источников или стоков теплоты, должно выполняться следующее неравенство:

$$f \leq \frac{1}{2} \frac{(2i+1)}{(2i+k)}, \quad (1)$$

где $f = a \Delta t / \Delta x^2$ – разностное число Фурье; a – коэффициент теплопроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; Δt – шаг по времени, с ; Δx – шаг по пространству, м ; $i = 0..N-1$ – номер внутреннего узла явной разностной схемы по пространству; k – коэффициент формы тела ($k = 1$ – неограниченная пластина, $k = 2$ – неограниченный цилиндр, $k = 3$ – сфера или шар).

Соблюдение условия (1) при выборе параметров расчётной сетки по времени и по координате гарантирует выполняемость закона сохранения энергии для каждого внутреннего узла сетки и обеспечивает сходимость результатов расчёта ДУТ по явной разностной схеме для тел простой геометрической формы.

*Е.С. Стукалова, А.М. Хитрова, студ.; рук. А.К. Гаськов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОРАЗРЫВА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ

В настоящее время весьма широкую популярность получила технология монолитного строительства зданий, по которой несущие стены и межэтажные перекрытия заливаются единым массивом из высокопрочного бетона. Как правило, одновременно с межэтажными перекрытиями единым контуром с ними формируются и выступающие элементы зданий – балконы, переходы и т.п.

Для снижения тепловых потерь нормативно-техническая документация предписывает утеплять внешние ограждающие конструкции зданий. Однако существует ряд технических сложностей в утеплении выступающих из контура зданий оснований балконов. В силу относительно высокой теплопроводности железобетона в месте монолитного сопряжения «утеплённая плита перекрытия – неутепленный балконный выступ» образуется мостик холода, который при некоторых параметрах наружного воздуха может приводить к промерзанию перекрытия. Для уменьшения этого эффекта применяется технология терморазрыва, по которой в сплошном контуре места сопряжения плиты перекрытия и балкона на этапе заливки бетона формируются пустотелые ячейки, которые в дальнейшем, как правило, заполняются каким-либо теплоизоляционным материалом.

Целью данной работы является исследование эффективности применения технологии терморазрыва для уменьшения потерь тепловой энергии через контур монолитного балконного отлива здания.

При помощи конечно-элементного программного пакета мультифизического моделирования разработана трёхмерная твердотельная модель перекрытия здания с балконным выступом. Для модели заданы физические свойства материалов, описаны начальные и граничные условия внутреннего и внешнего теплообмена. На разработанной математической модели просчитаны несколько вариантов схемы организации терморазрыва в основании балкона здания, в ходе которых получены данные о температурных полях и тепловых потоках в плите перекрытия. На основании расчётных данных сделаны выводы об эффективности применения технологии терморазрыва для снижения потерь тепла.

Д.В. Лобанов, И.С. Мельников, студ.;
рук. А.Ю. Жолобова, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

Законы идеальных газов представляют собой приближенные соотношения, описывающие поведение газов при определенных условиях, но не учитывающие многие факторы, влияющие на реальные газы, такие как межмолекулярные взаимодействия и объем молекул.

Уравнение Ван-дер-Ваальса играет ключевую роль в термодинамике, предоставляя более точное описание поведения реальных газов, модифицируя идеальное газовое уравнение, добавляя два параметра a и b , которые учитывают реальные свойства молекул газа:

$$P + a \cdot \frac{n^2}{V^2} \cdot (V - n \cdot b) = n \cdot R \cdot T,$$

где P – давление газа, атм. (Па); V – объем газа, занимаемый в сосуде, л (м^3); n – количество вещества газа, моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура газа, К. Константа a описывает межмолекулярные взаимодействия на больших расстояниях, учитывая дальное действие сил притяжения между молекулами. В то время, как константа b отражает взаимодействия на малых расстояниях, связанных с близким действием сил отталкивания между молекулами [1].

Исследования показывают, что использование уравнения Ван-дер-Ваальса для описания областей с резко выраженными свойствами реальных газов, таких как близость к линии насыщения, критическая область и область жидкости, приводит к значительным отклонениям от действительных параметров веществ. Поэтому его практическое применение возможно лишь в ограниченных диапазонах состояний реальных газов.

Библиографический список

1. Яковлев В.Ф. Развитие идей Ван-дер-Ваальса в теории газов и жидкостей / Сб. «Уравнения состояния газов и жидкостей. К столетию уравнения Ван-дер-Ваальса», под ред. чл.-кор. АН СССР И.И. Новикова. Изд. Наука, Москва, 1975. 262 с.

М.Г. Сулейманов, асп.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НА ВРЕМЯ НАГРЕВА ПОРИСТОЙ САДКИ

В промышленности широко используются нагревательные печи для термообработки материалов. Была разработана математическая модель тепловой работы газовой нагревательной печи периодического действия [1], которая реализована в виде компьютерной программы в среде программирования Delphi. При помощи компьютерной программы выполнено теоретическое исследование влияния пористости материала на температурное поле насыпных садок.

На рис. 1 представлена полученная в результате расчета зависимость перепада температур по сечению садки выполненных из стали 25Х1МФ

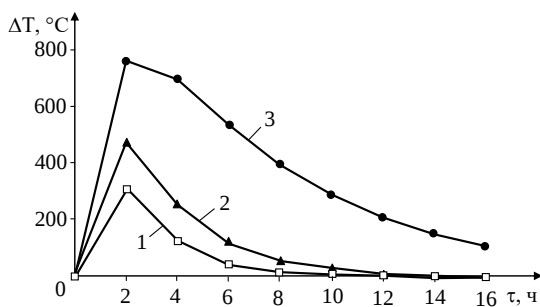


Рис. 1. Перепад температур по сечению садки во время нагрева для разной пористости:

1 – пористость 0,1; 2 – пористость 0,3; 3 – пористость 0,6

для трех значений пористости насыпного материала. Анализ результатов показывает, что с увеличением пористости, наблюдается увеличение перепада температур по сечению садки, количественное значение которого зависит

от исходных условий решаемой задачи. Максимальный перепад температур наблюдается в конце начального периода нагрева и затем снижается. При этом для пористости менее 0,6 уже во втором периоде нагрева перепад температур очень мал (значение перепада близко к нулю).

Вывод. Для условий типовой нагревательной печи получены температурное поле насыпной садки и перепад температур по ее сечению, на основе которых можно сделать вывод о качестве нагрева материала в зависимости от пористости садки и ее времени нагрева.

Библиографический список

1. Бухмиров, В.В. Инженерный метод расчета тепловой работы нагревательной печи / В. В. Бухмиров, М.Г. Сулейманов, Е.Н. Бушуев, О.Б. Колибаба, Н.П. Гусенкова // Промышленная энергетика – М: ЗАО НТФ «Энергопрогресс». – 2022. – №10. – С.39–45

СЕКЦИЯ 5

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

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

Секретарь –
к.т.н., доцент **Козлова М.В.**

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

ПРИМЕНЕНИЕ АБТН В ТЕПЛОВОЙ СХЕМЕ АЭС

Актуальность повышения энергоэффективности теплоэнергетических систем возрастает с каждым годом. Для быстрого анализа требуется разрабатывать программные комплексы с автоматизированным расчетом.

Мной разработана программа для расчета и анализа тепловой схемы турбины К-1200-6,8/50 с отпуском тепла на нужды теплоснабжения методом итерационных вычислений в программной среде Microsoft Excel [3].

Создание этого программного комплекса было бы невозможно без таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара [2], которые были оцифрованы. По данным таблицам были созданы модули автоматического поиска теплофизических параметров, что позволило полностью автоматизировать расчет.

Благодаря автоматизации расчета тепловой схемы можно проводить исследования различной сложности и сразу получать результаты вычислений. Математическая модель позволяет делать расчет в области насыщенного влажного пара, сухого насыщенного пара и перегретого пара.

Целью данной работы является внедрение абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса в систему теплофикации турбоустановки К-1200-6,8/50, и подбор параметров АБТН для получения максимальной эффективности в данной тепловой схеме.

АБТН использует низкопотенциальную теплоту оборотной воды для подогрева сетевой воды. В данной тепловой схеме предусмотрена работа теплового насоса как совместно с подогревателем сетевой воды (ПСВ), так и вместо ПСВ, а также изменение высокопотенциального источника теплоты – отбора пара турбины для АБТН.

Библиографический список.

1. Ярунин С.Н., Тимошин Л.И., Ярунина Н.Н. Промышленные тепловые двигатели: учебно-метод. пособие. / 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. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024689137. Расчет тепловой схемы турбоустановки энергоблока АЭС / Н.М. Худяков, Н.Н. Ярунина, С.Н. Ярунин; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ИГЭУ.

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

ОРГАНИЗАЦИЯ ОТВОДА ТЕПЛА ОТ КОНТУРА ОХЛАЖДЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭНЕРГОБЛОКОВ РБМК

Одной из основных систем, обеспечивающих безопасную и надежную эксплуатацию энергоблоков РБМК, является система управления и защиты (СУЗ) реактора. Ее основным назначением является автоматическое поддержание заданного уровня мощности, аварийное прекращение цепной реакции и регулирование распределения энерговыделения по активной зоне.

Система управления и защиты охлаждается водой автономного контура охлаждения каналов СУЗ (КО СУЗ), отвод тепла от которого осуществляется водой промежуточного контура (ПК), посредством рекуперативных теплообменников.

В промежуточном контуре циркулирует химически очищенная вода по причине высоких требований безопасности и технологии. Отвод же тепла от данного контура зачастую осуществляется водой из близлежащих открытых водоемов что возможно при использовании прямой системы технического водоснабжения [1]. Требования к качеству такой воды, как правило, невысокие, и поэтому ее подготовка часто ограничивается применением фильтров грубой очистки.

Данное обстоятельство может привести к скоплению илистых отложений и моллюсков на поверхностях нагрева теплообменного оборудования ПК, что оказывает влияние на интенсивность теплообмена, и, как следствие, на эффективность охлаждения. Кроме того, на параметры работы рассматриваемой системы влияет температура технической воды, которая является сезонным фактором.

Поскольку отклонение температуры воды, охлаждающей активную зону, от нормируемых значений может привести к нарушению стабильной работы энергоблока, важной задачей является определение как условий эффективного функционирования всех элементов КО СУЗ и ПК энергоблоков РБМК, так и способов их достижения.

Библиографический список

1. **СТО 1.1.1.02.006.0689-2014.** Водопользование на атомных станциях. Классификация охлаждающих систем водоснабжения : стандарт организации : утвержден и введен в действие Приказом АО «Концерн Росэнергоатом» от 12.09.2014 №9/979-П : дата введения 01.01.2015.
2. **Борьба с биообрастаниями - важная задача энерго- и ресурсосбережения** / М. Л. Калайда, Г. В. Новикова, Т. П. Синютина, А. А. Шмакова // Энергетика Татарстана. – 2008. – № 2(10). – С. 51-55. – EDN KWGRSL.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ

В связи с особым статусом центральной экологической зоны Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ) реализация мер, направленных на снижение выбросов загрязняющих веществ от угольных и мазутных котельных является актуальной.

При сжигании мазута образуются окислы азота и серы, окись углерода, сажа, что негативно влияет на окружающую среду. Кроме этого, при работе котельной на данном виде топлива поддержание круглогодичного функционирования мазутного хозяйства (слив нефтепродуктов, хранение, паровой распыл, подогрев мазутопроводов) требует затрат тепловой и электрической энергии.

В работе на примере паровой котельной суммарной мощностью 73,27 МВт, функционирующей на сернистом мазуте марки М-100, выполнена оценка энергетической и экологической эффективности перевода на сжиженные углеводородные газы (СУГ).

В результате расчета собственных нужд рассматриваемой котельной выявлено, что для работы мазутного хозяйства требуется 12 452 Гкал/год тепловой энергии.

При работе на СУГ котельная может оборудоваться изотермическими резервуарами, хранение и регазификации сжиженных углеводородов, в которых осуществляется с использованием комбинированного трансформатора теплоты (ТТ) [1]. В ходе работы было проведено исследование влияния типа рабочего агента на эффективность работы ТТ, в качестве низкокипящего энергоносителя был выбран R-290. Для рассматриваемой системы топливоснабжения собственные нужды представляют собой затраты на работу компрессора и криогенного насоса, которые составляют 4007 МВт·ч в год. При хранении СУГ в стационарных резервуарах процесс регазификации осуществляется за счет изменения давления, дополнительных затрат энергии не требуется.

СУГ, как и мазут содержат в составе серу (в виде сероводорода и меркаптанов), но в меньшем количестве. В ходе расчета выбросов установлено, что при сжигании СУГ снижается количество выбросов оксидов серы на 0,271 мг/м³

Таким образом, использование СУГ в качестве топлива, приводит не только к снижению затрат на собственные нужды, но и вредных выбросов.

Библиографический список

1. Пат. 2610800 Российская Федерация, МПК F17C 9/02, F25B 29/00, F17C 3/10. Способ изотермического хранения и регазификации сжиженного углеводородного газа / С. А. Шевцов, Д. В. Каргашилов, Д. К. Усачев, патентообладатели С. А. Шевцов, Д. В. Каргашилов, Д. К. Усачев – № 2015148410; заявл. 10.11.15; опубл. 15.02.17, Бюл. № 5 – 8 с.

Н.Ю. Кемаев, студ., И.Ю. Рудаков студ.; рук. А.В. Коновалов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГАЗОВ

Инерционные вихревые пылеуловители выполняют важную функцию в очищении: загрязненной среды или высокодисперсных материалов, посредством встречных потоков в сепарационной камере.

В сепарационной камере создаются встречные потоки газа, эти потоки подаются через патрубки с завихрителями, которые располагаются в нижней и верхней части пылеуловителя. Первичный поток движется снизу вверх вдоль оси сепарационной камеры. У стенки камеры сверху вниз движется вторичный поток, который на своем пути частично всасывается в первичный восходящий поток и полностью переходит в него у твердого основания завихрителя (2).

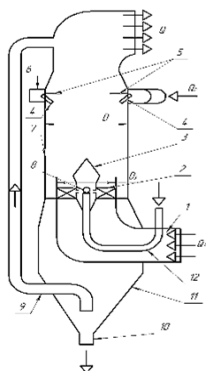


Рисунок 1. – Вихревой пылеуловитель типа «Вихрь»;

- 1 – газопровод;
- 2 – завихритель;
- 3 – обтекатель; 4 – сопла;
- 5 – шайба; 6 – раздаточная;
- 7 – корпус;
- 8 – отверстие; 9 – газопровод;
- 10 – патрубок;
- 11 – бункер;
- 12 – трубопровод.

Существуют два типа установок: ВПУ – вихревой пылеуловитель, ВЗП – установка с встречными закрученными потоками. Эффективность ВПУ зависит во многом от скорости воздуха, проходящего через установку, но превышение некоторого значения скорости приводит к падению эффективности циклона вследствие возрастания доли обратного выноса пыли из бункера. Но такое явление не наблюдалось в аппаратах ВЗП, хотя скорость и перепады давления изменялись в широком диапазоне в ходе экспериментов, приведенных в литературе [1]. Так же следует отметить в аппаратах ВЗП, эффективность улавливания пыли возрастает с увеличением расхода и средней скорости воздуха, поступающим как с первичным, так и со вторичным потоком. Распределение воздуха по каналам пылеуловителя, структура течения, аэродинамическое сопротивление и эффективность пылеулавливания зависит от кратности расхода воздуха.

Библиографический список

1. Сажин Б.С., Гудим Л.И. Вихревые пылеуловители. – М.: Химия 1995. – 144с.

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

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ «ВОЗДУХ – ВОДА» ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ В БАКЕ-АККУМУЛЯТОРЕ

В ходе экспериментального исследования были определены характерные показатели работы обратного цикла Карно для стадий нагрева и охлаждения воды (в диапазоне температур 8...60 °С) в баке-аккумуляторе теплового насоса TWH 200 E [1].

В стадии нагрева выяснилось, что констатация обратного цикла Карно возможна не ранее, чем через 1 час прогрева установки по причине низких температур конденсации рабочего агента и принципиального влияния гидравлических сопротивлений элементов контура теплового насоса на цикл при низких высотах теплоподъёма [2].

На рис.1 показана зависимость коэффициента трансформации от времени проведения эксперимента, из которой следует, что эффективная работа ТНУ, определяемая коэффициентом трансформации, является приоритетной, в сравнении с прочими показателями работ, такими как нагрузки на испаритель и конденсатор (рис.2).

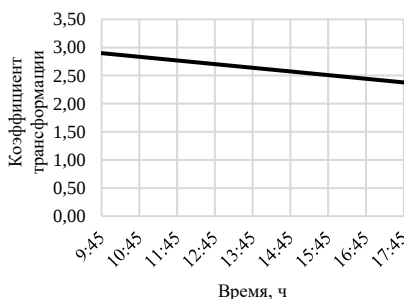


Рис.1. Зависимость коэффициента трансформации от времени проведения эксперимента

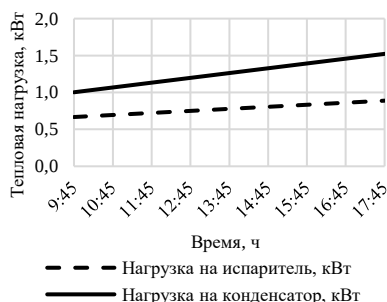


Рис.2. Зависимость полных нагрузок на испаритель и конденсатор от времени проведения эксперимента

Библиографический список

1. Официальный сайт бренда De Dietrich в России: официальный сайт. — URL: <https://dedietrich.ru/> (дата обращения: 03.02.2025).
2. Соколов, Ефим Яковлевич. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения : [учебное пособие для вузов] / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский. — Изд. 2-е, перераб. — М. : Энергоиздат, 1981. — 320 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МОРСКОЙ ВОДЫ НА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ ДИСТИЛЛЯЦИОННОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Сегодня для получения пресной воды широко используются технологии обратного осмоса, дистилляции и ионного обмена. При этом большая часть получаемой в мире пресной воды приходится на дистилляционные опреснительные установки.

Основными факторами, влияющими на энергопотребление дистилляционных опреснителей, являются температура и соленость опресняемой воды, которые зависят от месторасположения, особенностей климата и времени года. На величину затрат энергии на процесс опреснения также влияют режим работы и конструктивные особенности опреснительной установки.

В качестве объекта исследования рассматривается дистилляционная опреснительная установка с контактным испарителем и регенерацией теплоты получаемого дистиллята [1].

Автором выполнено расчетное исследование, в ходе которого получены зависимости затрат энергии от температуры и солёности опресняемой воды (рис.1).

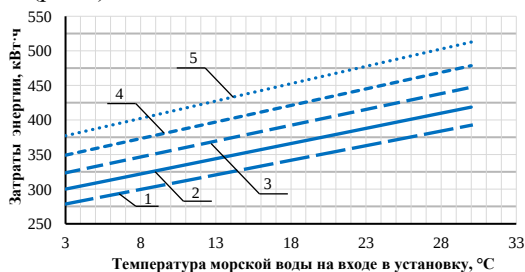


Рисунок 1 –
Зависимости затрат
энергии от температуры и
солёности опресняемой
воды:

1 – Солёность 10 г/л;
2 – 20 г/л; 3- 30 г/л;
4 – 40 г/л; 5- 50 г/л

По результатам анализа полученных данных было установлено, что затраты энергии возрастают пропорционально повышению температуры морской воды, данное обстоятельство обусловлено недоиспользованием потенциала пресной воды, покидающей установку. Рост энергозатрат наблюдается и при повышенной солёности.

Библиографический список

1. Патент на полезную модель № 194759 U1 Российская Федерация, МПК C02F 1/04. Паро-воздушная опреснительная установка : № 2019128616 : заявл. 11.09.2019 :опубл. 23.12.2019 / А. В. Банников, П. С. Соколов, М. В. Козлова ; заявитель ФГБОУ ВО ИГЭУ.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА НЕДОИСПОЛЬЗОВАННОЙ ПОТРЕБИТЕЛЯМИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

В настоящей работе проведен анализ данных, полученных с приборов учета систем отопления многоквартирных домов г. Фурманов, для выявления количества тепловой энергии, недоиспользованной потребителями.

На первом этапе исследования были проанализированы значения температуры теплоносителя в подающей линии, и выявлены потребители, у которых в течение отопительного периода температура сетевой воды в подающей линии отклонялась от значения температуры теплоносителя по температурному графику не более чем на $\pm 3\%$ в то время, как температура сетевой воды в обратной линии превышала значение температуры по сравнению с температурным графиком более чем на 5% .

По полученным в ходе анализа результатам был произведен расчет количества недоиспользованной тепловой энергии, которое определялось как разница фактического потребления и расчетного потребления по температурному графику. Расчетное количество тепловой энергии определялось по формуле:

$$Q = G \cdot c_p (\tau_1 - \tau_2),$$

где G – расход сетевой воды по прибору учета, кг/с; c_p – теплоемкость сетевой воды, кДж/кг·°С; τ_1 – температура сетевой воды в подающей линии по прибору учета, °С; τ_2 – температура сетевой воды в обратной линии, взятая по температурному графику с учетом превышения в 5% , °С.

В результате расчета было определено количество недоиспользованной тепловой энергии, которое составило 158,8 Гкал/отоп.сезон. Следствием этого является: необходимость в регулировке системы теплоснабжения, снижение тепловых потерь в сетях, следование температурного графика тепловой сети.

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок: утверждены приказом Минэнерго России от 24 марта 2003 г. № 115 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42178/ (дата обращения: 21.01.2025).

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

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Перспективным направлением повышения эффективности систем энергоснабжения является использование когенерационных установок на базе поршневых двигателей для комбинированной выработки электрической и тепловой энергии при этом достигается экономия топлива и сокращение потерь при транспортировке энергоносителей.

В качестве объекта исследования рассматривается дом отдыха.

Для выбора типа энергоустановки для газопоршневой отопительной ТЭЦ необходимо проведение комплексного анализа с учетом технических, эксплуатационных, ресурсных и режимных характеристик газопоршневых установок (ГПУ) [1]. Исходными данными для проведения расчетов и анализа являются тепловые и электрические нагрузки, а также графики энергопотребления объекта. Выбор основного оборудования проводится при работе мини-ТЭЦ по электрическому графику.

В работе проведены детальные исследования вариантов ГПУ отечественных производителей по наиболее важным критериям, на основании которых для энергоснабжения потребителей были отобраны наиболее перспективные ГПУ имеющие лучшие показатели по совокупности факторов.

В периоды снижения энергопотребления потребителями имеет место недостаток количества вырабатываемой тепловой энергии. В работе рассмотрен вопрос расчета мощности дополнительного источника теплоты, путем сравнения тепловой энергии, вырабатываемой системой утилизации (СУ) тепла ГПУ, с тепловой энергией, необходимой потребителям.

Расчет технико-экономических показателей с целью эффективного выбора газопоршневых двигателей для мини-ТЭЦ производится с использованием программы, разработанной авторами в MS Excel [2].

Библиографический список

1. **Разработка метода по выбору газопоршневых энергоустановок** / Буров В.Д., Дудолин А.А., Макаревич В.В., Макаревич Е.В. Энергосбережение и водоподготовка.-2011.- №5 (73).-С. 54-57;
2. **Свидетельство 2022661360 РФ**. Расчетный модуль для технико-экономического обоснования выбора газопоршневой установки для мини-ТЭЦ / Васильев С.В., Ставровский Е.С., Махов О.Н., Урвачев А.В. – № 2022661360; заявл. 06.06.2022; опубл. 20.06.2022.

*Р.Д. Семяшкин, студ.; рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕЖИМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

Современные приборы узла учета (УУ) предназначены только для коммерческого учета потребления теплоносителя и тепловой энергии.

Требование [1] использования УУ для контроля режимов работы системы теплоснабжения и теплопотребляющих установок здания в настоящее время не выполняется.

Представлены при текущих значениях температур наружного и внутреннего воздуха результаты расчетов режимных параметров системы отопления (СО) жилого здания по текущим показаниям УУ: температура воды в прямом и обратном трубопроводах, расход воды в сетевом трубопроводе, тепловая нагрузка здания.

Определены значения относительной тепловой нагрузки СО здания, температуры внутреннего воздуха и максимальной тепловой нагрузки здания на отопление, необходимые для выполнения теплогидравлических расчетов системы теплоснабжения

По балансовым соотношениям по различным формулам согласно [2] выполнены расчеты значения относительной тепловой нагрузки здания; результаты расчетов показали удовлетворительную сходимость.

Выполнен анализ теплового режима местных потребителей теплоты от гидравлической разрегулировки. Представлены зависимости внутренней температуры воздуха в отапливаемых помещениях от относительного расхода теплоносителя и от коэффициента смешения.

В то же время при выполнении поверочных расчетов в ZuluThermo, с учетом одних и тех же исходных данных, значения относительной тепловой нагрузки здания, подсчитанные по различным формулам балансовых соотношений [2], дают другие результаты.

Возникает неопределенность при проведении режимной наладки системы теплоснабжения: существующие методы более затратны, требующие при качественно-количественном методе регулирования увеличенного расхода циркуляционной воды.

Библиографический список

1. **Постановление Правительства РФ** от 18 ноября 2013 г. № 1034 «О коммерческом учете тепловой энергии, теплоносителя», (ред. 25.11.2.21), 27 с.
2. **Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети:** учебник для вузов/ Е.Я. Соколов; 7-е изд. – М.: изд. МЭИ, 2001. – 472 с.

*Р.Д. Семяшкин, студ.; рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПРЕСС-АУДИТ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПО ДАННЫМ ПОКАЗАНИЙ УЗЛА УЧЕТА

Вследствие низкой гидравлической устойчивости тепловых сетей фактическое распределение теплоты по потребителям может резко отличаться от установленного расчетным путем. Это приводит к нарушениям в работе систем отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха и приводит к резкому увеличению расходов сетевой воды, перерасходу теплоты потребителями, расположенными ближе к источникам теплоснабжения, и недогреву конечных потребителей тепловой энергии. Теплосетевые организации при этом несут значительные экономические потери.

Указанные выше недостатки необходимо устранять за счет постоянного контроля и управления за режимом работы индивидуальных тепловых пунктов и местных систем теплопотребления.

Коммерческий учет тепловой энергии, теплоносителя согласно Постановлению Правительства РФ № 1034 организуется в целях:

- а) осуществления расчетов между теплоснабжающими, теплосетевыми организациями и потребителями тепловой энергии;
- б) контроля за тепловыми и гидравлическими режимами работы систем теплоснабжения и теплопотребляющих установок;
- в) контроля за рациональным использованием тепловой энергии и теплоносителя.

Основными параметрами, характеризующими качество и экономичность работы системы теплоснабжения потребителей, являются: максимальная нагрузка системы отопления объекта и значение внутренней температуры воздуха в отапливаемых помещениях здания.

В ИГЭУ Для определения по данным узла учета значения фактической максимальной нагрузки системы отопления и значения фактической внутренней температуры отапливаемого здания разработано:

- методическое обеспечение, позволяющее повысить информативность показаний УУ и обеспечить мониторинг режима работы СО зданий;
- программное обеспечение, позволяющее выполнить наладку режима работы СО и получить корректные данные, необходимые для выполнения теплогидравлических расчетов системы теплоснабжения.

Представлены результаты расчётов режимных параметров ряда жилых зданий.

*А.Р. Тимершин, асп.; рук. Л.В. Плотникова, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ВОЗМОЖНОСТЬ КОМПРИМИРОВАНИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПАРОСТРУЙНЫМ КОМПРЕССОРОМ

Для компримирования дымовых газов котельной и получения парогазовой смеси с последующей закачкой ее в нефтеносные пласты необходимо определить возможность использования для этой задачи пароструйного компрессора. Основной причиной использования для этих целей пароструйного компрессора является возможность полезно использовать избыток давления пара, вырабатываемого на котельной.

В качестве рабочей среды выступает насыщенный пар с давлением 2,2 МПа, инжектируемой средой является дымовой газ с давлением 0,7 МПа. Массовое соотношение парогазовой смеси составляет 1 часть дымовых газов к 3 частям пара, соответственно коэффициент инжекции составляет 0,333. Требуемое давление парогазовой смеси на выходе из пароструйного компрессора 1,8 МПа, соответственно, требуемый коэффициент сжатия должен быть не менее 2,57. Определяющим элементом является отношение скорости потока при изоэнтропном течении к критической скорости на выходе из камеры смешения λ [1], расчет был начать с его максимального значения [2], но как видно, даже при наименьшем соотношении, пароструйный компрессор не может выдать необходимого давления при заданных параметрах.

Таблица 1 – Результаты расчетов

λ	Коэффициент сжатия	Выходное давление, Па
1	0,949	664203,5
0,5	1,732	1212171,7
0,4	1,860	1302078,8
0,3	1,994	1395773,8
0,2	2,138	1496269,1
0,02	2,443	1710055,1

Библиографический список

1. **Соколов, Е.Я.** Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд. – Москва: Энергия, 1989. – 352 с.
2. **Барбасова Т.А., Дивнич П.Н.** Определение достижимых коэффициентов инжекции и степени сжатия струйного парового компрессора // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2007. №7 (79).

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

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ АЭС

Для эффективного функционирования (АЭС) ключевое значение имеет система оборотного водоснабжения. Более 90% технической воды на АЭС расходуется на конденсаторы паровых турбин. Вследствие этого к системе технического водоснабжения предъявляются ключевые требования: обеспечение стабильной и эффективной работы тепловой схемы станции за счет поддержания оптимального (экономически выгодного) вакуума в конденсаторах независимо от изменений режимов их эксплуатации, а также соблюдение экологической безопасности. Таким образом, повышение эффективности системы оборотного водоснабжения представляет собой значимую научно-техническую задачу. На сегодняшний день разработан ряд инновационных решений, направленных на улучшение эффективности и надежности этой системы.

После систематизации и анализа всех технических решений, направленных на повышение эффективности системы оборотного водоснабжения АЭС, я пришёл к выводу, что требуется провести следующие мероприятия. Во-первых, необходимо повысить эффективность градирни путём использования системы воздухорегулирующих вихреобразующих щитов, устанавливаемых перед окнами подачи воздуха в башенную градирню, препятствующих образованию застойных зон в ней. А также путём использования форсунок каскадного ударного типа [1]. Во-вторых, нужно повысить эффективность регулирования циркуляционного насоса с помощью использования частотного преобразователя или изменения угла поворота лопастей. В-третьих, провести мероприятия по поддержанию вакуума в конденсаторе, что повысит его эффективность и КПД турбины [2].

Для того чтобы оценить эффективность этих мероприятий, планируется разработать математическую модель системы оборотного водоснабжения АЭС и на основе полученных результатов разработать рекомендации по повышению эффективности системы оборотного водоснабжения и снижению эксплуатационных затрат.

Библиографический список

1. Лаптев, А. Г. Устройство и расчет промышленных градирен / А. Г. Лаптев, И. А. Ведьгаева. – Казань: КГЭУ, 2004. – 180 с.
2. Зорин В.М. Атомные электростанции: учебное пособие / В.М. Зорин. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 672 с.

*Д.А. Сизов, студ.; А.А. Данилова, студ.; рук. А.В. Коновалов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)*

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ КАК ОБЪЕКТОВ СУШКИ

Испарение свободной жидкости характеризуется тремя особенностями: 1) испарение происходит в молекулярном поверхностном слое – зеркале испарения; 2) влага перемещается к зеркалу испарения только в виде жидкости; 3) перемещение массы жидкости к зеркалу испарения осуществляется в основном молярным переносом – конвекцией – и в меньшей степени молекулярным переносом – броуновским движением; 4) на испарение затрачивается лишь теплота парообразования.

Во влажных телах только часть влаги свободна, а значительная ее часть прочно связана с материалом: движение связанной влаги внутри твердого тела затруднено пространственной структурой тела. Прочность связи влаги с материалом и механизм ее движения внутри твердого тела зависят от вида тел. Структура тел и формы связи влаги с материалом определяют механизм испарения и движения влаги внутри тела: она может перемещаться в виде жидкости и в виде пара, причем перенос пара может быть молярным и молекулярным; испарение может происходить в относительно толстом слое – зоне испарения.

Классификация высушиваемых материалов по характеристикам и знание их свойства дают возможность выбрать рациональный метод и режим сушки и спроектировать эффективную сушильную установку.

В связи с задачей выбора способа сушки влажные материалы делят на 6 основных групп:

- 1) твердые дисперсные материалы, обладающие сыпучестью во влажном состоянии;
- 2) штучные, массивны, крупногабаритные материалы и изделия;
- 3) жидкотекучие материалы – это истинные и коллоидные растворы, эмульсии, суспензии;
- 4) пастообразные материалы;
- 5) тонкие, гибкие материалы;
- 6) изделия, подвергающиеся сушке после окрашивания, склеивания и т.п.

В промышленности наиболее часто встречаются первые три группы материалов и сушильное оборудование для этих материалов.

Библиографический список

1. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. – 320с.
2. Сажин, Б.С. Научные основы техники сушки/ Б.С. Сажин, В.Б. Сажин . М.: Наука, 1997.–448 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Использование теплоты сточных вод для систем теплоснабжения возможно благодаря использованию тепловых насосов, которые отбирают от стоков низкопотенциальную энергию и повышают температуру теплоносителя в выходном контуре.

Некоторые области применения такой технологии:

1. Внутриквартирные теплоутилизаторы для многоквартирных и частных домов тепловой мощностью от 1 до 3 кВт.

2. Придомовые утилизаторы для многоквартирных домов тепловой мощностью от 100 до 300 кВт.

3. Теплоутилизаторы на канализационно-насосных станциях для городских и поселковых микрорайонов тепловой мощностью от 400 до 6000 кВт в зависимости от размеров станций микрорайонов.

4. Теплоутилизаторы, совмещённые с местными очистными сооружениями, для индивидуальных домов и частных очистных сооружений тепловой мощностью от 10 до 15 кВт.

Основным недостатком индивидуальных (внутриквартирных) утилизаторов является их периодичность действия, поскольку поток сточных вод является непостоянным, а его потенциал переменным.

Утилизация теплоты сточных вод решает множество задач: энергосбережение, защита окружающей среды, повышение комфортности жилья, снижение эксплуатационных затрат.

В результате исследования установлено, что теплоснабжение от сточных вод может быть эффективным, однако для этого нужно удалять биоплёнку, которая образуется на той части теплообменника, которая омывается сточными водами.

Использование теплоты городских стоков позволяют сэкономить топливо в котельных, а также уменьшить экологическое загрязнение окружающей среды. Схемы по использованию теплоты сточных вод широко внедряются в настоящее время в системах теплоснабжения административных округах городов. Срок окупаемости от внедрения указанных мероприятий составляет около трех лет.

Библиографический список

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

*Р.Д. Семяшкин, студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕРМИЧЕСКИХ ОПРЕСНИТЕЛЕЙ

Основным недостатком термических опреснительных установок является их высокое энергопотребление. При этом они обладают следующими достоинствами: высокое качество получаемого дистиллята; возможность предельного упаривания рассола с доведением до сухого остатка; простота и удобство эксплуатации.

Соответственно, вектор дальнейшего развития термических опреснительных установок направлен на снижение затрат на производство дистиллята. Повысить энергетическую эффективность термических опреснительных установок можно путем более рационального использования ресурсов за счет:

- регенерации тепловой энергии (путем использования энергии выходящих потоков пресной воды, рассола для нагрева входящих потоков);
- использования вторичных энергетических ресурсов (уходящие дымовые газы, отработанный пар, тепловыделение с электрогенераторов);
- применения возобновляемых источников энергии (энергия солнца, энергия волн, использования ветроэнергетического потенциала);
- интеграции трансформаторов теплоты (ТТ) в тепловые схемы опреснителей (парокомпрессионные, абсорбционные, основанные на эффекте Пельтье ТТ).

Для парокомпрессионных ТТ зачастую в качестве низкопотенциального источника энергии (НИЭ) выступает водяной пар, который конденсируется, или паровоздушная смесь, которую необходимо осушить.

Абсорбционные ТТ используются реже, так как для их работы требуется дополнительный источник теплоты. В качестве НИЭ для них может выступать теплота от потоков рассола или дистиллята.

В настоящее время проводятся исследования установок, основанных на эффекте Пельтье [1], в которых отводится энергия от водяного пара для осуществления процесса кипения морской воды.

Перспективным является исследование опреснителей, в которых используется промежуточный энергоноситель [2].

Библиографический список

1. **Энергоэффективный опреснитель** / Т. А. Исмаилов, Х. М. Гаджиев, К. М. Давыдова [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017. – Т. 44, № 3. – С. 61–71.

2. **Патент на полезную модель № 194759** U1 Российская Федерация, МПК C02F 1/04. Паровоздушная опреснительная установка: № 2019128616: заявл. 11.09.2019; опубл. 23.12.2019 / А. В. Банников, П. С. Соколов, М. В. Козлова; заявитель ФГБОУ ВО ИГЭУ.

А.Д. Слободин, аспирант; рук. В.Ф. Селиванов, д.т.н., проф.
(ВГТУ, Воронеж)

СТРАТИФИКАЦИЯ ВОЗДУХА В ГАЗОВОЙ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ

Для термической обработки стальных изделий широкое распространение получили газовые печи с выкатным подом, обеспечивающие нагрев и выдержку при заданной температуре изделия с целью придания ему заданных физико-механических свойств. Необходимым условием качественной термической обработки является равномерность нагрева изделия. Типовые решения по выравниванию температуры в печи является расположение газовых форсунок в нижней части камеры и возможность регулирования расхода газа на отдельные форсунки для обеспечения зон нагрева в горизонтальном направлении (печь ТХМ-ДО-50.130.30/1100). Проведение экспериментальных исследований в печи ТХМ-ДО-50.130.30/1100, заключающихся в измерении температуры в центре печи на высотах 0,4 и 1,3 м показало наличие вертикального температурного градиента. Разница температур составила порядка 20-35 °С в течение 5 часов нагрева. Это свидетельствует о явлении стратификации воздуха вследствие доминирования сил плавучести над термоконвекционными. Для выявления характера температурного поля в камере печи и возможностей их выравнивания разработана математическая модель процессов тепломассопереноса в камере печи. Рассмотрен нестационарный неизотермический турбулентный режим течения воздуха в вертикальном сечении камеры (рис. 1а), на границах Г1 заданы условия теплоизоляции, на Г2 давление на горелках и температура факела пламени, на Г3 атмосферное давление и температура окружающей среды (рис.1).

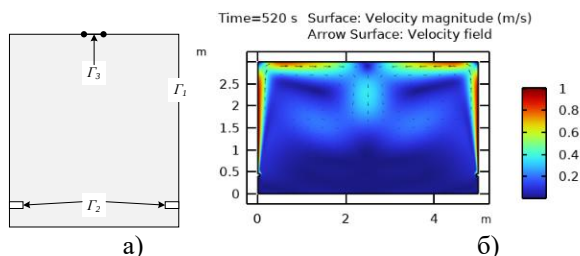


Рисунок 1 – а) Расчетная схема; б) температурно-скоростное поле

Разработанная модель позволяет визуализировать температурные и скоростные поля в объеме печи в разных режимах работы.

*И.А. Соловьев студ.; рук. С.А Банникова, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТЕНЦИАЛА СТОЧНЫХ ВОД ЖИЛОГО ДОМА

Скопление снега и льда на дорогах и тротуарах придомовой территории сегодня является актуальной проблемой, для решения которой традиционно используется машинная и ручная уборка снега, а также применяются специальные реагенты. Альтернативным решением может стать создание систем снеготаяния и антиобледенения на базе использования вторичных тепловых энергоресурсов, к которым в рамках жилого многоквартирного дома относятся, например, сточные воды.

Целью работы является определение теплового потенциала сточных вод и оценка целесообразности их использования в системах снеготаяния и антиобледенения на примере многоквартирного жилого дома в г. Иваново.

Очевидно, что энергетический потенциал сточных вод определяется их количественной и качественной характеристикой. Сточные воды, образовавшиеся в результате хозяйственной деятельности человека и удаляемые системой водоотведения, имеют достаточно высокий и стабильный температурный потенциал. Их средняя температура в течении всего года составляет 21...26 °С [1] и, исходя из наихудших условий, для расчетов принята равной 21 °С. При этом расход сточных вод, напрямую зависящий от потребления воды жильцами дома на различные цели, определялся расчетным расходом холодной и горячей воды и составил для рассматриваемого жилого дома 0,56 л/с [2]. Для принятых условий тепловая мощность сточных вод рассматриваемого жилого составила 56,6 кВт. Утилизацию данной теплоты целесообразно проводить с помощью теплонасосной установки, которая при небольших затратах энергии, в следствие небольшой высоты теплоподъема, способна обеспечить работу системы снеготаяния и антиобледенения, которая, в свою очередь, необходима для очистки придомовой территории от снега и льда. В результате расчета была определена площадь придомовой территории, оснащенная данной системой, равная 127 м².

Утилизация теплоты сточных вод для работы системы снеготаяния и антиобледенения позволит снизить затраты на уборку снега, повысить уровень комфорта и безопасности жителей дома, увеличить срок службы дорожного покрытия.

Библиографический список

1. Сейболд. С. Бранк. М.Ф. Использование тепла сточных вод для дома // Сантехника. – 2014. – № 6. – С. 44-49.
2. СП 30.13330.2020 – Внутренний водопровод и канализация зданий. – М.: ФАУ ФЦС, 2020. – 76 с.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ

В настоящее время энергетическому сектору необходимо решить ряд ключевых задач, вызванных непрерывно увеличивающимся энергопотреблением. Это требует новой стратегии для ускоренного развития ресурсной базы, перехода на альтернативные источники энергии и значительного увеличения новых генерирующих мощностей с более высокими показателями тепловой и топливной эффективности, а также существенного повышения надежности систем тепло- и электроснабжения.

Целью данной работы является разработка технического решения для повышения эффективности работы Северной ТЭЦ с турбоустановками Тп-100/110-90.

В ходе выполнения работы рассмотрены различные варианты использования потенциала низкотемпературных потоков на тепловых электрических станциях [1, 2].

Предлагаемое техническое решение для рассматриваемой системы заключается в подключении теплового насоса парокомпрессионного типа (ПКТН) к встроенному теплофикационному пучку труб конденсатора турбины [2]. Данная схема позволит повысить экономичность тепловой электрической станции, за счет поддержания более низких температур конденсации пара в конденсаторе и повышения температуры теплоносителя, уходящего к потребителю, по сравнению известными тепловыми схемами с паровыми турбинами со встроенным теплофикационным пучком труб.

Для решения данной задачи выполняются расчеты по оценке тепловой эффективности применения ПКТН, подключенного к встроенному пучку конденсатора паровой турбины, а также планируется исследование влияния на экономичность источника теплоснабжения реальных условий эксплуатации. В работе проводится технико-экономическое обоснование эффективности предлагаемого технического решения.

Библиографический список

1. **Сорокин О.А.** Применение теплонасосных установок для утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты на ТЭС // Промышленная энергетика. 2005. №6. 36-41 с.
2. **Ефимов Н.Н.,** Лапин И.А., Малышев П.А., Безуглов Р.В. Анализ использования тепловых насосов на тепловых и атомных электростанциях // Технические науки. 2010. № 4. 35-39 с.

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВ НА БАЗЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Поддержание комфортного микроклимата в теплицах позволяет повысить урожайность выращиваемых культур. Основными факторами, влияющими на рост и урожайность являются температура и влажность воздуха, содержание диоксида углерода, а также освещенность.

Доля затрат на энергоснабжение промышленных теплиц составляет порядка 50-60% от общих затрат на получение полезного продукта.

При работе теплицы потребляется как тепловая, так и электрическая энергия, кроме этого, для осуществления процесса фотосинтеза растениям необходимо наличие диоксида углерода в окружающем воздухе. В этой связи перспективным источником энергоснабжения являются когенерационные установки [1].

Одним из вариантов энергоснабжения промышленной теплицы является установка дизельного генератора, уходящие газы которого могут использоваться в котле-утилизаторе (теплообменном аппарате) для подогрева воды, которая направляется в систему распределения для подогрева грунта, нагрева воздуха, а также для нагрева воды, используемой для орошения почвы, увлажнения воздуха (рисунок 1).

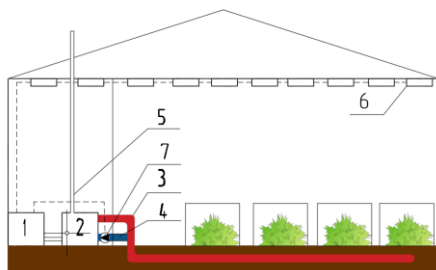


Рисунок 1 – Принципиальная схема энергоснабжения теплицы:
1-дизель-генератор;
2-котел-утилизатор;
3-подача горячей воды на теплые полы;
4- линия обратной воды;
5- дымовая труба;
6- осветительные приборы;
7- насос.

Уходящие газы после котла-утилизатора могут полностью удаляться через дымовую трубу или частично смешиваться с воздухом и подаваться в теплицу для поддержания заданного уровня CO_2 .

Библиографический список

1. **Энергоснабжение** промышленной теплицы с использованием теплового насоса с газовым приводом, часть I / М. Л. Шит, А. М. Иойшер, Б. М. Шит [и др.] // Проблемы региональной энергетики. – 2013. – № 2(22). – С. 64-78.

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

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В БАКТЕРИЦИДНОМ МОДУЛЕ

В данной научной работе представлена имитационная модель процесса обеззараживания воздуха в воздуховоде, созданная в программном комплексе COMSOL Multiphysics.

С целью повышения энергоэффективности, в системах кондиционирования используется теплота вытяжного воздуха в камерах смешения или в рекуперативных теплообменниках для подогрева приточного воздуха и, тем самым, для снижения затрат на его обработку. Утилизация энергии вытяжного воздуха в рекуператорах не всегда является возможной, так как при низких температурах сконденсировавшийся в теплообменниках воздух замерзает и образуется наледь, из-за которой оборудование выходит из строя. Камера смешения является более универсальным методом, за исключением регионов с умеренным климатом, где вследствие смешения потоков воздуха увеличиваются материальные затраты на охлаждение приточного воздуха, по сравнению с прямоточной схемой подачи. Однако, перед камерой смешения вытяжной воздух необходимо обрабатывать в бактерицидном модуле для уменьшения риска заболеваемости людей. Таким образом, будут снижены затраты на обработку приточного воздуха и обеспечено здравоохранение в местах пребывания людей.

В работе смоделированы аэродинамические процессы в обеззараживателе воздуха, вмонтированном в систему кондиционирования, обеспечивающую создание комфортного микроклимата в помещениях полномасштабного тренажера блочного щита управления АЭС и лаборатории прецизионных систем формирования микроклимата.

В процессе моделирования построены линии потоков вытяжного воздуха, температурные и скоростные поля в бактерицидном модуле. Были рассмотрены несколько вариантов расположения антибактериальных ламп в пространстве воздуховода.

Библиографический список

1. Пыжов В.К., Смирнов Н.Н. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования: учебник; ИГЭУ.—Москва ; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019.—528 с.
2. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: учеб.пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.

*М.О. Абышкин, студ.; рук. Н.Н. Смирнов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧЕБНОГО СТЕНДА ПО ТЕРМОМОБРАБОТКЕ ТКАНЕЙ

При преподавании дисциплин, связанных с тепломассообменными процессами и установками, актуальной задачей является доступное представление материала по сушке материалов для студентов.

Была проведена модернизация учебного стенда линии термической обработки тканей ЛТ-120. Данная линия включает в себя раскатную машину Р-120-5, сушильную СБМ2-1/120, термокамеру УРТК-120-1, накатную машину Н-120-5 [1]. Скорость продвижения ткани составляет 25-125 м/мин, влажность ткани 5-7 %, установленная мощность токоприёмников 83,5 кВт.

Сушка инфракрасными лучами, реализованная в универсальной радиационной термокамере УРТК с электрическими трубчатыми излучателями, позволяет подводить к материалу потоки тепла, в десятки раз превышающие соответствующие потоки при конвективной или контактной сушке. Радиационная сушка более целесообразна для тонких тканей. Ткань поступает по направляющим роликам, проходит через камеру между излучающими панелями и нагревается с двух сторон до температуры 160-200 °С и выводится через щель для последующего охлаждения и накатки в ролик.

Сушильные барабанные машины (СБМ) предназначены для контактной сушки тканей. СБМ представляют собой серию вращающихся цилиндров, обогреваемых внутри паром и установленных в шахматном порядке в виде вертикальной колонки на стойках, внутри которых проложены трубопроводы для подачи к цилиндрам пара и отвода конденсата. Ткань заправляется на цилиндры врасправку, транспортируется ими, сушится и разглаживается.

В процессе модернизации стенда была создана система специальной подсветки как всей установки, так и отдельно сушильного оборудования. Общее освещение организуется лампой из светодиодов белого цвета, СБМ и УРТК – красного. Были рассчитаны электрические токи и выбраны соответствующие трансформаторы. Включение подсветки осуществляется с помощью специальных переключателей.

Библиографический список

1. Бельцов В.М. Оборудование для отделки хлопчатобумажных тканей: учебник. – М: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 352 с.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

Для повышения энергетической эффективности системы теплоснабжения проведено исследование четырехэтажного общественно-го здания в г. Иваново. Здание правильной формы, площадь стен составляет 1500 м², оконных проемов – 1080 м², потолочного перекрытия и пола – по 1190 м². Толщина бетонных стен – 700 мм, их термическое сопротивление до утепления составляло 1,2 (м²·К)/Вт. Здание построено в 70-х годах XX века, при этом площадь свето-прозрачных ограждений составляет около 50% общей площади наружных конструкций.

Тепловизионное обследование выявило значительные теплопотери через наружные конструкции, особенно в оконных проемах, местах стыков окон и стен, фасадных участках и перекрытиях. Основные проблемы связаны с негерметичностью монтажных швов, низким сопротивлением теплопередаче и наличием "мостиков холода". Выявленные дефекты способствуют значительным потерям тепла, увеличению затрат на отопление и снижению комфорта в помещениях.

Для устранения дефектов и повышения энергоэффективности здания предложены следующие меры:

- Герметизация оконных проемов полиуретановыми герметиками;
- Утепление фасада с применением экструдированного пенополистирола "Технониколь" (плотность 35 кг/м³, теплопроводность 0,029 Вт/(м·К)) или минеральной ваты "Isover" (плотность 35 кг/м³, теплопроводность 0,038 Вт/(м·К)). Укладка теплоизоляции в несколько слоев обеспечит защиту от "мостиков холода";
- Использование термостойких прокладок и теплоизолирующей штукатурки;
- Теплоизоляция оконных откосов вспененным полиэтиленом или жестким пенополистиролом.

После реализации указанных мероприятий рекомендуется провести повторное тепловизионное обследование для контроля эффективности утепления. Принятые меры позволят существенно снизить теплопотери, повысить энергетическую эффективность здания и улучшить комфорт в помещениях. Регулярный мониторинг теплоизоляции поможет предотвратить повторные утечки тепла.

*П.Е. Малякин, студ.; рук. С.В. Васильев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЯРОСЛАВСКОЙ ТЭЦ-3

В современных условиях энергетического рынка теплоэлектростанции (ТЭЦ) сталкиваются с необходимостью повышения энергоэффективности, чтобы адаптироваться к растущим вызовам со стороны альтернативных источников тепловой и электрической энергии.

В работе рассматриваются вопросы использования технических решений для повышения эффективности работы Ярославской ТЭЦ-3 с турбоустановками ПТ-65/ 75-130/13.

В процессе выполнения работы были исследованы различные варианты использования потенциала низкотемпературных потоков на тепловых электрических станциях [1-2]. Известен способ утилизации сбросной теплоты электрических станций, осуществляемый за счет использования теплоты продувочной воды паропреобразовательной установки для подогрева химически очищенной воды, направляемой после в деаэратор, недостатком схемы является то, что величина тепловой энергии, утилизируемая потоком химически очищенной воды, очень мала.

В работе для повышения эффективности предлагается метод утилизации сбросного тепла продувочной воды парогенератора за счет передачи тепла от воды к нагреваемому веществу в утилизаторе, предлагается в качестве утилизатора использовать тепловой насос, а в качестве нагреваемого вещества – химически очищенную (добавленную) воду, подвергаемую дальше процессу деаэрации [2]. В результате использования сбросного тепла продувочной воды парогенератора осуществляется перевод низкопотенциального тепла, в теплоту добавочной химически очищенной воды, подаваемой далее в деаэратор, и как следствие, уменьшается расход греющего пара, поступающего из регенеративного отбора турбины к деаэратору.

Библиографический список

1. **Новожилов Ю.Н.** Применение тепловых насосов в схемах теплоснабжения // Промышленная энергетика. 2006. №5. С. 24-25.
2. **Плевако А.П.** Возможность использования тепловых насосов на ТЭС и котельных // Сборник научных трудов. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2012. С. 229-232.

А. А. Шохин, маг.; рук. С.В. Васильев, к.т.н., доц.

(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОТ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Атомные электростанции (АЭС) являются крупными источниками низкопотенциальной тепловой энергии, не пригодной для промышленного использования вследствие низкого температурного уровня. Одним из направлений решения данной проблемы является применение тепловых насосов, которые, как известно, бывают двух видов: парокомпрессионные и абсорбционные. Парокомпрессионные тепловые насосы обладают высоким коэффициентом трансформации, однако, в отличие от абсорбционных, для работы они используют электроэнергию, что приводит к дополнительным затратам на собственные нужды.

В ходе данной работы был выполнен анализ существующих решений по повышению эффективности работы АЭС за счет применения теплонасосного оборудования [1,2]. Исследование выполнено применительно к Калининской атомной электростанции с турбиной К-1000-60/1500. На основе проведенного анализа предлагается решение, основанное на включении в стандартную тепловую схему энергоблока двухконтурной АЭС, теплового насоса, интегрированного в единый корпус с цилиндром низкого давления. Такое техническое решение позволяет обеспечить вторичный промперегрев пара в последней ступени турбоустановки АЭС.

Сравнительный анализ результатов расчетов стандартной и предложенной тепловых схем показывает, что введение вторичного промперегрева пара в последней ступени турбины приводит к увеличению общего срабатываемого теплоперепада, что сказывается на снижении расхода пара на турбоустановку при одинаковой нагрузке и экономичности работы паровой турбины в целом.

Библиографический список

1. Щеклеин С.Е., Ташлыков О.Л., Дубинин А.М. Повышение энергоэффективности АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2015. – № 4. – С. 15.
2. Ефимов Н.Н., Янченко И.В., Скубиенко С.В. Оценка эффективности использования вторичной ступени промежуточного перегрева пара в схеме АЭС с абсорбционным тепловым насосом // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2014. – № 3. – С. 20-24.

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ С ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ

Главной целью энергетической политики Российской Федерации является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора.

В работе предлагается решение проблемы повышения энергетической эффективности источника тепла в системе теплоснабжения, за счет внедрения технологии утилизации теплоты уходящих газов из котла, с применением контура на основе органического цикла Ренкина (ORC) [1] для выработки электрической энергии, предполагающая использование в качестве рабочего тела низкотемпературный агент.

Объектом для модернизации выбрана водогрейная котельная г. Подольска, оснащенная водогрейными котлами КВГМ-4,65-115. В котельной для реализации указанной технологии предусматривается три контура, первый – для утилизации теплоты уходящих газов, второй – для генерации электрической энергии, в состав оборудования данного контура входит расширитель с электрогенератором, теплообменник-испаритель, конденсатор и питательный насос. Включение дополнительного третьего контура для предварительного подогрева сырой воды, состоящего из трубопроводов, трехходового крана и крана регулирования расхода подпиточной воды, позволяет утилизировать теплоту, отводимую от конденсатора, это повышает экономическую эффективность водогрейной котельной [2]. Для утилизации теплоты уходящих газов принят теплоутилизатор поверхностного типа КСК.

Реализация данной идеи предполагает выбор рабочего тела. Следует учитывать факторы теплофизических свойств рабочего тела, термохимические характеристики, экологическую безопасность технологии, его доступность и изученность.

Для осуществления процесса когенерации рассмотрен вопрос выбора расширителя в контуре ORC, которые можно разделить на скоростные (осевые или радиальные турбины) и объемные расширители (лопостные, поршневые, винтовые и спиральные). В работе предлагается установка ORC-турбины.

Библиографический список

1. Репин, Л.А. Возможности производства электроэнергии в водогрейных котельных /Л.А. Репин, Д.Н. Тарасов, А.В. Макеева//Новости теплоснабжения. 2008, №9.
2. Пат. №145822 (RU). Тепловая схема водогрейной котельной /С.В. Васильев, А.А. Гуськова, А.В. Банников // Б. И. 2014 №24.

*Г.И. Парфенов, асп.; С.О. Гордеев, студ.; рук. Н.Н. Смирнов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФИЗИЧЕСКОЕ НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ БЛОК С ТЕПЛООТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ

Учеными кафедры промышленной теплоэнергетики были разработаны оконные блоки с теплоотражающими экранами, применение которых позволяет в несколько раз снизить трансмиссионные тепловые потери через данные ограждающие конструкции [1, 2]. Были выполнены имитационное моделирование процесса теплопередачи через светопрозрачные ограждающие конструкции в нескольких программно-вычислительных комплексах, а также физический эксперимент в климатической камере АНО «Ивановостройиспытания» [2].

Авторами была доработана конструкция энергоэффективного наружного ставня в части использования в качестве основы для слоя теплоизоляционной сэндвич-панели, а также заполнения прослоек между теплоотражающими экранами малотеплопроводными газами, такими как аргон. На теплоизоляционные панели с помощью клея фиксировались фрагменты алюминиевой фольги, обладающей высокими теплоотражающими свойствами. Благодаря поддержке и помощи крупнейшего завода по производству окон ООО «Штандарт» были изготовлены промышленные образцы ставня.

Был выполнен натурный физический эксперимент по определению эффективности использования ставня на оконном блоке, включающем в себя двухкамерный стеклопакет, установленный в частном жилом доме. Были определены высокие значения приведенного коэффициента сопротивления теплопередаче оконного блока со ставнем.

Работа выполнена при поддержке гранта Фонда содействия инновациям, предоставленного в рамках программы «Студенческий стартап» федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» по договору №3366ГССС15-L/100096.

Библиографический список

1. Пат. №154163 Российская Федерация, МПК Е 06 В 9/17. Многофункциональный энергоэффективный ставень / В.М. Захаров, Н.Н. Смирнов, Д.А. Лапатеев и др.; заявитель и патентообладатель ИГЭУ.– №2014137231/12, заявл. 15.09.2014; опубл. 20.08.2015, бюл. №23.
2. Смирнов Н.Н. Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04. Иваново, 2022.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПГУ-ТЭЦ

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) играют важную роль в системе теплоснабжения, обеспечивая потребителей теплом и электроэнергией. Одним из наиболее распространенных способов реконструкции существующих ТЭЦ является замена устаревшего оборудования и переход на более энергоэффективный комбинированный цикл (парогазовый цикл). Тем не менее, дальнейшее повышение эффективности ПГУ-ТЭЦ является одной из актуальных задач в энергетике.

Для решения данной задачи в ходе работы рассмотрены основные направления и варианты повышения эффективности ПГУ-ТЭЦ с применением тепловых насосов (ТНУ) [1,2].

Анализ эффективности применения ТНУ и расчет энергетических показателей проводится на примере теплофикационного блока ПГУ-ТЭЦ 450 МВт. В рассматриваемой схеме используются две газотурбинные установки номинальной мощностью 160 МВт, два котла-утилизатора двух давлений и одна паровая теплофикационная турбина номинальной электрической мощностью 150 МВт.

Для модернизации схемы предлагается способ применения тепловых насосов, при котором в качестве низкопотенциального источника теплоты с целью нагрева теплоносителя, подаваемого потребителю, применяется охлаждающая вода конденсатора [2]. Данное решение позволяет улучшить обеспечение графика тепловой нагрузки потребителей, а также гарантирует получение требуемого количества теплоты в различных режимах работы блока в течение года.

В работе предусматривается сравнение технико-экономических показателей ТЭЦ до и после модернизации [1].

В ходе работы установлено, что применение тепловых насосов в составе ПГУ-ТЭЦ позволяет снизить потребление топлива, повысить надёжность и стабильность работы станции, а также улучшить технико-экономические показатели работы ТЭЦ.

Библиографический список

1. **Киселев, Г.П.** Варианты расчета удельных показателей эффективности работы ТЭЦ. М.: Издательство МЭИ. – 2003.
2. **Тепловая** электрическая станция с теплонасосной установкой (патент на полезную модель) / Буров В.Д, Дудолин А.А., Крашенинников С.М., Олейникова Е.Н. // Патент на полезную модель, № 129558U1, опубликовано: 27.06.2013.

*М.О. Абышкин, Д.А. Смирнов, студ., Г.И. Парфенов, асп.;
рук. Н.Н. Смирнов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Доля затрат на организацию микроклимата в помещениях промышленных предприятий является весомой в структуре производственных издержек. Более того, некомфортный микроклимат может значительно повлиять на самочувствие человека, тем самым снизив производительность труда персонала и увеличив количество брака. Динамический микроклимат, воздействуя на систему терморегуляции человека, позволяет повысить его работоспособность и качественные показатели труда [1].

Авторами были разработаны предложения по усовершенствованию приточно-вытяжной системы кондиционирования воздуха, включающие в себя применение обеззараживателя воздуха, установки по насыщению воздуха ароматами. Эти мероприятия позволят не только снизить заболеваемость персонала, но совместно с динамическим микроклиматом значительно повысить качество труда. Также были рассмотрены вопросы снижения затрат на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) при организации микроклимата при переходе на дежурный режим отопления в нерабочее время и применении энергоэффективных теплоотражающих экранов в окнах. Была разработана имитационная модель теплопередачи через энергоэффективный оконный блок. Был определен технико-экономический эффект от предложенных мероприятий и составлен бизнес-план.

Таким образом, предложенные мероприятия позволят не только сократить затраты на ТЭР, но и повысить производительность труда.

Работа выполнена при поддержке гранта Фонда содействия инновациям, предоставленного в рамках программы «Студенческий стартап» федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» по договору №3366ГССС15-Л/100096.

Библиографический список

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

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

НАЛАДКА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

Качество теплоснабжения (отопления) предусматривает обеспечение расчетной температуры внутреннего воздуха в отапливаемом помещении здания. Любая вновь смонтированная или реконструированная система отопления здания требует тепловой и гидравлической наладки. Если решена основная задача, т.е. ИТП здания обеспечен расчетным количеством тепловой энергии и теплоносителя, то не менее важной и трудной задачей является распределение теплоносителя по стоякам и подключенным к ним отопительным приборам пропорционально их тепловой нагрузке. Если к стояку системы отопления подключены отопительные приборы с расчетными поверхностями нагрева, пропорциональными тепловым потерям отапливаемых помещений, то в этом случае расходы теплоносителя равны расчетным. В действительности, фактические расходы теплоносителей не всегда равны расчетным, а также и температуры в подающих и обратных трубопроводах не соответствуют значениям по температурному графику.

Предлагаемая методика наладки системы отопления содержит два безразмерных показателя: относительную тепловую нагрузку и относительный расход теплоносителя, по которым определяется значение внутренней температуры воздуха в отапливаемом помещении здания, подключенному к данному стояку; для этого необходимы измерения трех температур: теплоносителей в подающем и обратном трубопроводах стояка системы отопления, а также текущей температуры наружного воздуха, при которой производится режим наладки (или балансировки) системы отопления здания.

Знание фактического расхода теплоносителя в стояке (отопительном приборе) помогает регулировать значение внутренней температуры воздуха в помещении здания путем коррекции гидравлического сопротивления суживающих устройств (балансировочных клапанов, дроссельных шайб и пр.).

Библиографический список

1. Метод контроля качества наладки в системах теплоснабжения / Сапрыкин И.М. // Новости теплоснабжения, № 1. - 2004 г. - с. 21-26

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА ПГУ

Парогазовые установки (ПГУ) широко применяются в России благодаря их высокой эффективности и экологичности. Важнейшим элементом таких систем являются котлы-утилизаторы (КУ), использующие тепло отходящих газов для выработки пара. В настоящее время активно ведётся модернизация этого оборудования, направленная на повышение КПД, снижение выбросов и продление срока службы. Расчёт КУ вручную является трудозатратным, поэтому имеет смысл прибегнуть к автоматизации (особенно при современном высоком уровне развития вычислительных ресурсов и программных средств).

Целью данной работы является разработка программы в MS Excel, позволяющей автоматизировать расчет параметров работы КУ в составе двухконтурной ПГУ. Двухконтурная ПГУ использует газовую турбину, где сжигается топливо, а горячие газы нагревают КУ. В первом контуре пар высокого давления идёт в турбину, затем оставшееся тепло генерирует пар низкого давления для второй турбины, повышая КПД системы.

Для решения данной цели на основании рекомендаций по определению основных показателей работы КУ [1] разрабатывается алгоритм и программа расчета КУ. При выполнении расчета КУ исходными данными являются: вид и состав сжигаемого в ГТУ топлива; параметры выхлопных газов ГТУ (расход, температура, избыток воздуха, состав выхлопных газов, конструктивные параметры типовой секции поверхностей нагрева КУ). Для каждой группы поверхностей нагрева решаются уравнения теплового баланса по газовому и пароводяному тракту, а также уравнение теплопередачи. Их решение осуществляется в определенной последовательности для определения поверхностей нагрева КУ. Выполнение расчета КУ осуществляется при одновременном контроле выбора параметров и количества генерируемого пара высокого и низкого давления с использованием Q-t диаграммы поверхностей нагрева КУ.

Данная программа будет востребована для автоматизации процессов расчёта КУ, входящего в состав ПГУ.

Библиографический список

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

А.Г. Филиппова, студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТИПА РАБОЧЕГО АГЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАСОСА ПРИ ОПРЕСНЕНИИ МОРСКОЙ ВОДЫ

Получение обессоленной воды термическим методом включает в себя два последовательных процесса – испарение и конденсацию. Поскольку для осуществления процесса испарения требуется подвод теплоты более высокого потенциала, а конденсация осуществляется с отводом энергии, то для работы установок термического типа актуальным является интегрирование трансформаторов теплоты в их тепловые схемы.

Одним из факторов, влияющих на эффективность работы тепловых насосов (ТН) в составе опреснительных установок, является тип рабочего агента. В этой связи актуальным является исследование влияния типа рабочего агента на характеристики работы ТН.

Автором выполнено расчетное исследование, в ходе которого были определены: коэффициент трансформации, расход рабочего агента, мощность, потребляемая компрессором, для различных рабочих агентов. Расчет выполнен для тепловой схемы опреснительной установки с промежуточным подогревом воздуха [1] для температуры осушки 65 °С, а температуры барботажа – 95 °С.

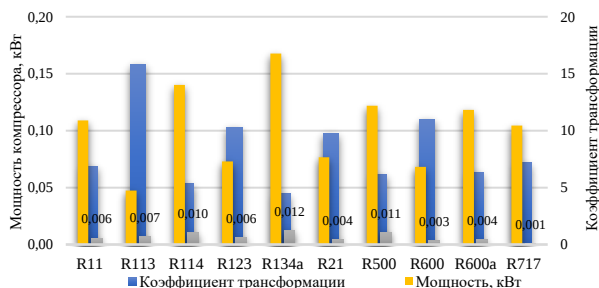


Рисунок 1 –
Параметры
работы теплового
насоса

Таким образом, наиболее эффективно использование R123 и R600 поскольку в данном случае достигается наибольший коэффициент трансформации при наименьшей потребляемой компрессором мощности.

Библиографический список

1. Козлова, М.В. Разработка тепловой схемы термической опреснительной установки с промежуточным подогревом паровоздушной смеси / М.В. Козлова, А.В. Банников, Н.В. Артемьев // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. 2024: материалы VIII Международной научно-технической конференции: в 2 ч. – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И. И. Ульянова.— 2024. – С.203 – 207.

СЕКЦИЯ 6

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Председатель

д.т.н., профессор **Тютиков В.В.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Блинов О.В.**

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Актуальной темой является теплообеспечение помещений при рациональном использовании тепловой и электрической энергии. В системе управления теплообеспечением в помещении при использовании теплоэнергетического оборудования главным элементом является буферная емкость, которая аккумулирует теплоноситель (воду) для дальнейшего отопления помещения (рис. 1). Управление оборудованием происходит через контроллер. Значение температуры в буферной емкости передает контроллеру термopара. В работе представлены три контура.

Когда температура буферной емкости ниже установленной, контроллер отправляет воздействие на включение воздушного теплообменного прибора. Работа воздушного теплообменного прибора цикличная.

Если мощности воздушного теплообменного прибора недостаточно, то воду нагревает.

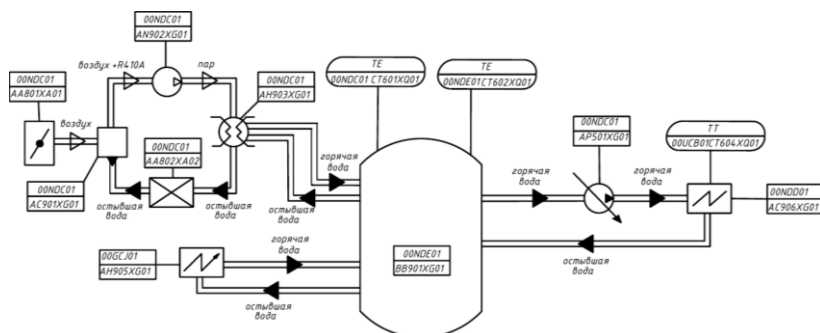


Рис.1. P&ID - диаграмма системы регулирования.

Библиографический список

1. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Логинова С.А. Тепловые процессы в испарительно-конденсационном контуре системы воздушного теплового насоса. 2022. С. 104-109.

*Д.А. Карманов, студ., Д.В. Лобанов, студ.;
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

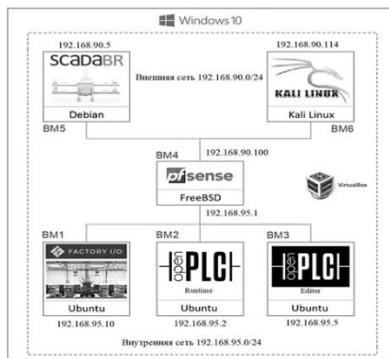


Рис. 1. Архитектура виртуальной промышленной системы управления

GRFICS – фреймворк для симуляции промышленных систем управления [1], на базе которого создана и настроена виртуальная система управления химическим технологическим процессом. В ней используется шесть виртуальных машин, объединенных в сеть, рис. 1. Платформа виртуализации – Oracle VM VirtualBox.

Factory I/O – программное обеспечение для трехмерного моделирования объектов промышленной автоматизации.

OpenPLC – открытое программное обеспечение ПЛК; состоит из среды разработки Editor и среды исполнения Runtime.

ScadaBR – SCADA, интегрированная с OpenPLC, и, используемая для создания интерактивных экранов HMI.

PfSense – программный маршрутизатор на базе ОС FreeBSD.

Kali Linux – специализированный дистрибутив Linux.

Роли виртуальных машин: BM1 – технологический процесс; BM2 – ПЛК; BM3 – рабочая станция для программирования ПЛК; BM4 – сетевой маршрутизатор; BM5 – SCADA; BM6 – рабочая станция для тестирования безопасности сети. Используемый протокол – Modbus TCP.

Библиографический список

1. Formby D., Rad M., and Beyah R., Lowering the barriers to industrial control system security with GRFICS. In *2018 USENIX Workshop on Advances in Security Education, USENIX*, 2018.

Д.А. Карманов, студ., Д.В. Лобанов, студ.;
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ПАКЕТОВ MODBUS TCP/IP С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ WIRESHARK

Wireshark – программный анализатор сетевых пакетов, применяемый в задачах диагностики и мониторинга компьютерных сетей.

Modbus TCP/IP – разновидность коммуникационного протокола Modbus для передачи данных между устройствами промышленной автоматизации в сети Ethernet TCP/IP по модели «клиент-сервер».

ADU (Application Data Unit) – блок данных приложения, передаваемый протоколом Modbus TCP поверх стека протоколов TCP/IP, рис. 1.

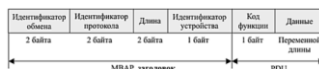


Рис. 1. Формат ADU Modbus TCP/IP

С помощью программы Wireshark выполнен захват пакетов Modbus TCP/IP на персональном компьютере с установленными на нем эмуляторами клиента и сервера при чтении и записи данных путем запросов и ответов. Структура пакета Modbus TCP/IP показана на рис. 2.

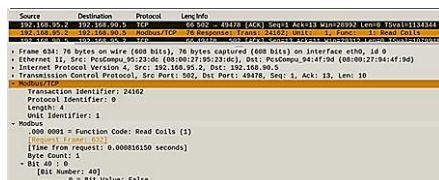


Рис. 2. Структура пакета Modbus TCP/IP в программе Wireshark

Анализ содержащейся информации, включая PDU, МВАР-заголовок и уровни TCP/IP, может быть использован в практических целях для выявления ошибок и неполадок в промышленной сети, а в учебных целях – для изучения протокола Modbus.

Библиографический список

1. **Денисенко В.В.** Протоколы и сети Modbus и Modbus TCP // Современные технологии автоматизации, 2010. №4. С. 94-98.

*С.А. Лебедева, студ., К.А. Лётин, студ.,
рук. О.В. Блинов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИНТЕГРАЦИЯ CODESYS, VISSIM И TRACE MODE ЧЕРЕЗ OPC-СЕРВЕР

В современной промышленной автоматизации мониторинг и диагностика процессов играют ключевую роль в обеспечении эффективности и надежности производства. На программном уровне такие задачи решаются SCADA системами такими как CODESYS и TRACE MODE. При этом, при разработке математического обеспечения систем автоматизации иногда приходится выполнять моделирование систем управления используя программы имитационного моделирования, например, Vissim.

TRACE MODE – это модуль SCADA, предназначенный для отслеживания и анализа данных в реальном времени, позволяющий записывать значения переменных, события и другие параметры системы, предоставляя инструменты для визуализации, анализа и диагностики проблем.

VisSim – система моделирования, предназначенная для моделирования динамических систем. Широко используется в промышленной автоматизации.

OPC (OLE for Process Control) – это стандарт, обеспечивающий совместимость между различными системами автоматизации. OPC-сервер выступает в роли посредника, позволяя CODESYS и TRACE MODE обмениваться данными независимо от их конкретной реализации.

Используя в совокупности две SCADA системы (CODESYS и TRACE MODE) и систему моделирования (VisSim), можно осуществить более детальное изучение законов регулирования автоматик. Интеграция вышеперечисленных систем с OPC-сервером расширит возможности обмена данными, как между самими приложениями, так и предоставление данных пользователю. Целью данной интеграции является расширение возможностей изучения принципов управления.

Библиографический список

1. **TRACE MODE 6 SOFTLOGIC:** программирование контроллеров. [Электронный ресурс].

Д.А. Карманов, студ., Д.В. Лобанов, студ.;
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУБД РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ SIAD/SQL В SCADA TRACE MODE 6

TRACE MODE 6 – программный комплекс класса SCADA HMI, предназначенный для разработки программных проектов и обеспечения функционирования АСУ ТП.

В инструментальной системе TRACE MODE разработан учебный проект, который в среде исполнения функционирует как монитор реального времени (МРВ). Выполнена настройка элементов графического интерфейса и связей между компонентами проекта.

Возможность архивирования параметров технологического процесса – неотъемлемое требование, предъявляемое ко всем современным системам управления. Для выполнения этой задачи TRACE MODE снабжена собственной высокоскоростной промышленной системой управления базами данных (СУБД) реального времени SIAD/SQL.

Каналы узла МРВ сконфигурированы на архивирование в базу данных, управляемую СУБД SIAD/SQL, формирование отчета тревог и отображение архивных значений на экране МРВ. Также с помощью встроенных средств TRACE MODE выполнена статистическая обработка архивных данных, рис. 1.

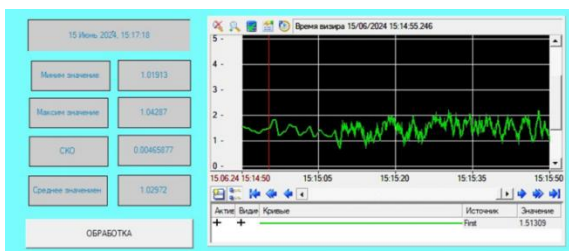


Рис. 1. Отображение результатов обработки архивных данных

Информация о ходе технологического процесса может записываться во внешние реляционные базы данных.

С помощью SQL-запросов выполнена настройка архивации каналов узла МРВ в электронную таблицу MS Excel и базу данных MS Access.

Библиографический список

1. Сайт компании AdAstra Research Group [Электронный ресурс] / URL: <http://www.adastra.ru/>

*Д.Л. Лобанов, студ.;
рук. Е.К.Торопова, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ

Процессы, проходящие в системах автоматического управления, описываются дифференциальными уравнениями. Самые простые из дифференциальных уравнений позволяют найти решение точными математическими методами, однако далеко не все. К настоящему времени разработано множество программных продуктов, позволяющих решать такие задачи численными методами, при этом не вдаваясь в подробности функционирования данных методов. Наиболее известными программами, позволяющими решать дифференциальные уравнения, являются системы компьютерной математики (СКМ) MathCAD, MatLab, Maple.

Альтернативным (и всё более популярным) путём решения дифференциальных уравнений является применение специальных научных библиотек, в частности для широко известного свободно распространяемого высокоуровневого языка программирования Python.

Таблица 1. Возможности СКМ для решения дифференциальных уравнений

	Функциональн	Точность	Интеграция	Производительность	Интерфейс	Справочные матер
Maple	1	1	1	1 (аналитически)	1	1
Mathcad	0	0	1	0	+1	0
Python (SciPy, SymPy)	+1	1	+1	1 (численно)	-1	+1

В данной таблице: 0 – средние показатели в данной категории, +1/1 (соответственно) – отличные/хорошие показатели в данной категории, -1 – плохие показатели в данной категории.

Библиографический список

1. Ильичев В.Ю. Автоматизация решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка / В. Ю. Ильичев, Е.С Назаров // Научное обозрение. Технические науки. – 2022. – № 1. – С. 45-49.

**В.А. Сырова; рук. Р.В. Бударагин, д.т.н., доц.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Н. Новгород)**

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЧ - МОЩНОСТИ

Приборы для измерения мощности сигналов высоких частот (ВЧ) находят применение как в гражданских, так и военных технических комплексах: при разработке и настройке радио- и телекоммуникационного оборудования, и определения его характеристик [1].

Целью работы стала разработка автоматизированной системы измерения мощности ВЧ-сигналов для калориметрического ваттметра. На рисунке 1 представлен внешний вид экспериментального образца ваттметра поглощаемой мощности.



Рис.1- Внешний вид ваттметра поглощаемой мощности

Для реализации автоматизированного измерения ВЧ-излучения предусматривается система управления (далее АСУ) с программным обеспечением. Она представляет собой централизованную АСУ [2], в которой используется управляющая вычислительная машина (УВМ), необходимая для сбора, обработки информации о поступающих сигналах и выработки управляющих воздействий. Конструктивно автоматизация измерений реализуется с помощью датчиков температуры, передающих показания на микроконтроллер с возможностью подключения к компьютеру для последующей обработки, хранения и отображения информации.

В результате была спроектирована автоматизированная система измерения, разработаны программа и методика испытаний ВЧ-ваттметра для проверки работоспособности и корректности измерений.

Библиографический список

1. **Бударагин Р.В.** Измерение мощности СВЧ-излучения с помощью калориметрического метода. Ваттметр СВЧ. УДК 53.072.8:53.082.63, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, 603155.
2. **Лебедев К.Н.** Автоматизированные системы управления технологическими процессами: Учебное пособие/ К.Н. Лебедев. – Волгоград, ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008. – 117 с.

СЕКЦИЯ 7

ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

Председатель –

к.т.н., доцент **Виноградов А.Л.**

Секретарь –

к.т.н., доцент **Григорьев Е.Ю.**

*Т.Д. Курзина, студ.; рук. В.А. Буданов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОЙ КВОУ, В КОМПРЕССОР ГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Номинальная мощность газотурбинных установок рассчитана на температуру воздуха перед компрессором +15 °С. Однако температура воздуха всегда меняется в широком диапазоне, что влияет на КПД ГТУ.

В холодный период года возможно образование наледи на поверхностях КВОУ, что вызывает возрастание вибрации.

Для предупреждения обледенения входного тракта КВОУ при температурах воздуха в диапазоне от -5...+5 °С и относительной влажности 80% САР включает антиобледенительную систему (АОС). При этом автоматически открывается антиобледенительный клапан АОС отбора горячего воздуха от ступени компрессора на подогрев КВОУ.

Также при низких температурах наружного воздуха возможно подмешивание на всасе компрессора уходящих газов из котла-утилизатора.

Для снижения температуры воздуха на входе в компрессор используют различные технические схемы. Например, испарительное охлаждение - наружный воздух с высокой температурой входит в теплообменник воздухоохладителя, интегрированный в КВОУ, и подаётся в компрессор газовой турбины уже охлаждённым.

Другим методом понижения температуры воздуха, подаваемого в компрессор, является использование абсорбционных холодильных машин (АБХМ) - через теплообменник проходит охлаждённая вода из АБХМ с температурой +6... +11 °С, которая служит для охлаждения приточного воздуха на входе в ГТУ до +15... +20 °С.

В различных климатических условиях могут быть введены свои мероприятия по управлению качеством воздуха на входе в турбокомпрессор ГТУ с целью обеспечения надежности, экономичности и маневренности ПГУ в регулировочном диапазоне режимов работы.

Библиографический список

1. Рабенко В.С., Будаков И.В., Неуймин В.М. Об особенностях эксплуатации энергоблоков ПГУ в климатических условиях России // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – 13 с.

И.К. Муравьев, маг.;
рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., зав. каф. ПГТ
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С ОЦЕНКОЙ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ

Газотурбинные установки (ГТУ) являются одним из прогрессивных и эффективных способов генерации электроэнергии на современных электростанциях [1].

Для эффективной эксплуатации ГТУ необходимо обеспечить стабильный процесс горения в камерах сгорания (КС) с учетом динамики процессов и изменений внешних климатических факторов.

Цель данной работы заключается в разработке имитационной модели газотурбинной установки SGT5-4000F и в оценки близости режима работы компрессора к границе устойчивости и определения границ стабильного процесса горения в КС с учетом режимов эксплуатации оборудования и климатических факторов внешней среды. Проведены исследования в области устойчивости работы компрессора и камеры сгорания [2].

Показано, что при изменениях мощности от 113 до 282 МВт и температуры наружного воздуха от -12 до 30 °С горение в КС протекает стабильно во всем диапазоне рабочих нагрузок.



Рис. 1. Обобщенная структурная схема модели ГТУ в SimInTech

Библиографический список

1. **Газотурбинные** энергетические установки: учеб. пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С.В. Цанева. – М.: Изд. дом МЭИ, 2011. – 428 с.
2. **Муравьев И.К., Шинкевич Д.А.** Моделирование работы газотурбинной установки SGT5-4000F с исследованием влияния режимных и климатических факторов на устойчивость горения в камере сгорания // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2024. – Вып.1. – С. 12-19.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЭС. ЭТАПЫ

Проектирование тепловых электростанций является ключевым этапом их создания, поскольку именно на этом этапе закладываются основные параметры эффективности, безопасности и экологичности будущего объекта. Также одной из основных целей проектирования является недопущение коллизий между объектами.

Для проектирования ТЭС используют программы компаний: Intergraph и Autodesk и др.

Этапы проектирования ТЭС

1. Предпроектные исследования

На этом этапе проводится анализ потребностей региона в электроэнергии и тепле, оценка доступности топливных ресурсов, выбор площадки для строительства и экологическая экспертиза.

2. Разработка концептуальной схемы

На этом этапе определяется тип станции, выбирается принципиальная схема работы, а также предварительно подбирается оборудование.

3. Техническое проектирование

На этой стадии разрабатываются детальные чертежи и спецификации, включая: архитектурные решения зданий и сооружений, инженерные системы (водоснабжение, электроснабжение, вентиляция), схемы трубопроводов и систем автоматизации, планы по обеспечению безопасности.

4. Экологическое обоснование

Проектирование ТЭС должно учитывать требования экологического законодательства. Это включает: минимизацию выбросов, установку систем очистки дымовых газов, рациональное использование водных ресурсов.

5. Строительство и ввод в эксплуатацию

После завершения разработки проектной документации начинается строительство станции. На этапе пусконаладочных работ проверяется работоспособность всех систем, проводятся испытания оборудования и обучение персонала.

Библиографический список

1. Басин А.М. «Теплоэлектростанции: проектирование и эксплуатация». Москва: Энергоатомиздат, 2018.

Н. С. Бабанов, студ.; рук.

А.И. Киселев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ПЭН

Питательная установка паротурбинного энергоблока 65 МВт Приморской ТЭС состоит из: насосного агрегата АПЭ 400-185-1, гидромуфты, электродвигателя и вспомогательного оборудования. Система маслоснабжения ПЭН обеспечивает смазку подшипников и требуемое давление масла для работы гидромуфты.

Разработка математической модели системы смазки ПЭН позволяет интегрировать ее в общую математическую модель цифрового двойника тепловой электростанции для решения различных задач, связанных с определением технико-экономических показателей, получения режимных данных работы, оптимизации режимов работы.

Модель реализована с помощью ПО Microsoft Visual Studio на языке программирования C++.

В докладе представлены подходы к моделированию системы, математические зависимости и физические законы, позволяющие произвести непрерывный математический расчет системы; описана реализация моделирования узлов и оборудования системы, методика моделирования теплообмена в маслоохладителе, произведен расчет температурных полей подшипников, представлена математическая модель гидромуфты.

Проведенная валидация и верификация математической модели на основе данных эксплуатации Приморской ТЭС показывает ее достаточную адекватность и точность, по сравнению с реальным оборудованием. Погрешность математической модели по основным физическим параметрам (давления масла, температуры в характерных точках) составляет менее 5% на стационарных режимах и до 25% на нестационарных.

Математическая модель маслосистемы ПЭН была интегрирована в общую математическую модель энергоблока 65 МВт Приморской ТЭС и использована в составе тренажерного комплекса для подготовки персонала.

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

ПРОМЫВОЧНЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ КОМПРЕССОРА ГТУ

Очистка компрессора является важной составляющей в эксплуатации газовой турбины. Несмотря на то, что существуют воздушные фильтры твердые частички попадают в проточную часть и образуются отложения, пагубно влияя на оборудование.

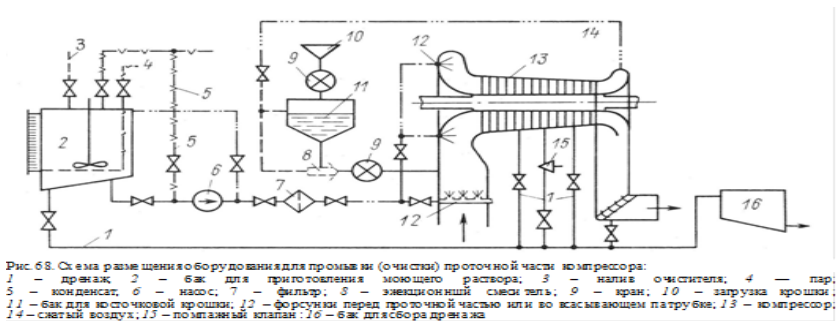
Данную операцию следует периодически проводить, так как на поверхности лопаток и элементов воздушного тракта ГТУ появляются “заносы”. Со временем они пагубно сказываются на работе компрессора. Меняется расход, напор и его КПД, а следовательно, и всей газовой турбины.

Специальное моющее средство подается в компрессор. Ротор турбины прокручивают на малых оборотах с помощью валоповоротного устройства, для промывки образовавшихся отложений. Затем смывают обессоленной водой. Данная процедура проводится каждые 1500-2000 работы турбины. Для эффективности очистки используется вода нагретая до температуры 50-90 градусов.

В некоторых случаях подобный эффект может обеспечивать так называемая “сухая очистка” компрессора. Существует специальное устройство, которое под давлением подаёт абразивы (отходы различного происхождения).

Так же может применяться промывка при работе “на ходу”. Данная процедура дополняет операцию на малых оборотах. Она производится каждые 200 часов работы ГТУ.

Таким образом, данная процедура необходима для надежной работы газовой турбины. Она продлевает срок службы агрегата и его оборудования.



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

ВЛИЯНИЕ БАЛАНСИРОВКИ РОТОРОВ НА ВИБРАЦИЮ ВАЛОПРОВОДА

Для снижения уровня вибрации отдельные роторы проходят динамическую балансировку на заводе изготовителе. Мерой качества балансировки может служить динамическая реакция в опорах балансировочного станка на рабочей частоте вращения по отношению к статической реакции от веса ротора.

После ремонта ротора с заменой поврежденных или изношенных лопаток при невозможности или нежелательности транспортирования ротора для балансировки на завод-изготовитель часто проводится динамическая балансировка всего валопровода в собственных подшипниках на электростанции. Процедура балансировки сводится к подбору по определенной методике массы балансировочных (уравновешивающих) грузов и места их распределения. Балансировочные грузы размещаются в специальных кольцевых пазах на некоторых дисках роторов.

При этом, как правило, оказывается необходимым провести несколько пробных пусков турбины с разворотом валопровода до номинальной частоты вращения. Разработанные методики балансировки, такие как: балансировка на специальных балансировочных станках, балансировка в собственных опорах на месте эксплуатации, позволяет свести необходимое число пробных пусков турбины к минимуму. Иногда оказывается необходимым всего один пробный пуск, в течении которого измеряется вибрация в различных точках турбоагрегата и по этим данным оказывается возможность установить массу и расположение необходимых уравновешивающих грузов.

Качество балансировки роторов является одним из главных факторов, определяющих нормальное вибрационное состояние турбоагрегата в эксплуатации.

Библиографический список

1. **Костюк А.Г.** Динамика и прочность турбомашин. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 476 с.

*Д.М. Крайнов, студ.; рук. В.А. Буданов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ СХЕМ УТИЛИЗАЦИОННЫХ ПГУ С НЕСКОЛЬКИМИ КОНТУРАМИ РЕГЕНЕРАЦИИ

Парогазовая установка с котлом-утилизатором на сегодняшний день самый используемый и перспективный тип ПГУ, т.к. единственный при работе в конденсационном режиме имеет КПД до 65 %.

Принцип работы утилизационной ПГУ: выходные газы ГТУ поступают в котел-утилизатор, где за счет тепла горячих газов генерируется пар высоких параметров, направляемый в паровую турбину. Одноконтурная схема такой ПГУ проще и дешевле остальных. Недостатком такой установки является то, что невозможно охладить выходные газы ГТУ до температуры ниже 150°C. Поэтому КПД системы – до 46 %. Если уменьшать температуру уходящих газов, то уменьшается и КПД всей установки.

Для двухконтурных ПГУ с КУ характерна более высокая начальная температура газа перед ГТ, и температура выходных газов выше 550°C. Экономичность возрастает с увеличением температуры и давления пара ВД. Предельное значение этой температуры определяется температурой выходных газов и напором на горячем конце пароперегревателя. По этой схеме выполняется подавляющее число утилизационных ПГУ, обеспечивающих КПД до 52 %.

По схожему принципу устроена трехконтурная схема утилизационной ПГУ. В котле есть части низкого, среднего и высокого давлений. Внутри котла-утилизатора размещены поверхности нагрева в виде отдельных пакетов, причем их чередование согласуется с уменьшающейся температурой греющих газов. Это обеспечивает максимальную передачу тепла от газов к рабочему телу. В результате температура уходящих газов за котлом-утилизатором составляет 102°C и трехконтурная ПГУ с промежуточным перегревом пара имеет КПД 54 %.

Библиографический список

1. Култышев А. Ю. Парогазовые установки и особенности паровых турбин для ПГУ : учеб. пособие / А. Ю. Култышев, В. Н. Голошумова, А. С. Алешина. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 163 с.

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

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Магистральный транспорт газа является важнейшей составляющей топливно-энергетического комплекса (ТЭК), поэтому улучшение эффективности транспорта газа в значительной мере отразится в лучшую сторону на всю энергетическую отрасль.

Рассмотрим возможные методы по повышению энергоэффективности ГПА:

Применение промывок для осевого компрессора ГПА.

Загрязнение привода компрессора снижает полезную мощность ГТУ на 3-10%, а КПД ГТУ на 2-5%. Таким образом своевременная промывка компрессора поспособствует сохранению характеристик ГПА. [1]

Применение регенерации для подготовки сжатого воздуха, поступающего в камеру сгорания.

Основными потерями ГТУ – потери теплоты уходящих газов, которые составляют 60-70%. Для примера у ГТУ при степени регенерации $\sigma = 0,6$ происходит экономия на топливе ~22-28 %. Повышения степени регенерации можно добиться увеличением поверхности теплообмена регенератора. К примеру, увеличение F в 3 раза приведет к увеличению σ на 25%. [2]

Таким образом применение данных методов поспособствует значительному повышению энергоэффективности ГПА.

Библиографический список

1. Харченко, К. Г. Совершенствование систем промывки проточной части компрессоров газотурбинных установок / К. Г. Харченко, А. А. Чернышев // Актуальные проблемы энергетики - 2016 [Электронный ресурс] : материалы научно-технической конференции студентов и аспирантов (Минск, 2017). - Минск : БНТУ, 2017. - С. 328-331.
2. Култышев А. Ю. Парогазовые установки и особенности паровых турбин для ПГУ : учеб. пособие / А. Ю. Култышев, В. Н. Голошумова, А. С. Алешина. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 163 с. – ISBN 978-5-7422-7740-8.

*М.М. Баротов, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕПЛО-ЭЛЕКТРОГЕНЕРАЦИЯ ТАДЖИКИСТАНА

Энергетика Таджикистана играет важную роль в обеспечении страны электроэнергией, необходимой для промышленности, сельского хозяйства и бытовых нужд населения. Одним из ключевых объектов энергетической системы является теплоэлектростанция ТЭЦ-3.

Развитие энергетики в Таджикистане тесно связано с именами выдающихся инженеров и специалистов. Одним из них был Абдулло Исмоилов, известный таджикский энергетик, внёсший значительный вклад в развитие гидроэнергетики и тепловых электростанций страны. В 1960-х годах он участвовал в строительстве первых крупных ТЭЦ в республике, что способствовало экономическому развитию и обеспечению энергоснабжения промышленности.

ТЭЦ-3 – одна из крупнейших теплоэлектростанций в Таджикистане. Электростанция работает на угле и природном газе, что позволяет ей обеспечивать стабильное энергоснабжение даже в холодное время года.

Важность работы ТЭЦ-3 связана с обеспечением электроэнергией Душанбе и прилегающих районов; обеспечением тепловой энергией жилых и промышленных объектов, особенно в зимний период; использованием местных ресурсов – угля в качестве топлива, что снижает зависимость от импорта энергоносителей.

Проблемной стороной вопроса эксплуатации ТЭЦ-3 является:

- износ оборудования: большая часть оборудования устарела и требует модернизации;
- зависимость от импорта топлива: хотя используется местный уголь, потребность в газе создает зависимость от зарубежных поставщиков;
- выбросы угольных электростанций требуют внедрения современных систем фильтрации.

В будущем планируется модернизация ТЭЦ-3, что позволит повысить её эффективность и снизить негативное влияние на окружающую среду.

Библиографический список

1. Кулляев В. А. Развитие энергетики Таджикистана. – Душанбе: Ирфон, 2005. – 256 с.
2. Назаров Р. История электроэнергетики Таджикистана. – Душанбе: Маориф, 2010. – 312 с.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СПОСОБА ПОДГОТОВКИ ВОДЫ ДЛЯ ВОСПОЛНЕНИЯ ПОТЕРЬ ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ЦИКЛА ПГУ

Производительность испарителя покрывает потери пара и конденсата на одном энергетическом блоке ТЭС. Получать достаточную производительность позволяет большая конденсирующая способность потоков основного конденсата, характерных для энергетических блоков конденсационного типа [1].

Испаритель включается в котла-утилизатора ПГУ без снижения тепловой экономичности (рис. 1).

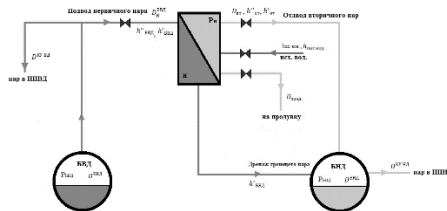


Рис. 1. Схема включения блочной испарительной установки

Принимаемые по нормам проектирования производительности БИУ составляют от 2 % (98 % на регенерации и 2 % на продувке) пар производительности котлов ($D_0^{\text{ПГУ}} = 98,756 \text{ кг/с}$) [1].

Оцениваем эффективность системы включения БИУ [1].

$$\Delta N = \frac{N_{\text{С БИУ}} - N_{\text{БЕЗ БИУ}}}{N_{\text{БЕЗ БИУ}}} \cdot 100\% \\ = \frac{109,06 - 111,58}{111,58} \cdot 100 = -2,26 \%$$

Использование БИУ снижает незначительно мощность блока ПТУ (-2519,89 кВт), но позволяет повысить подготовку воды для восполнения потерь водного теплоносителя цикла ПГУ, что экономично для химической цеха [1].

Библиографический список

1. **Нямба И.Р.** Пояснительная записка к ВКР на тему «Совершенствование тепловой схемы парогазовой установки для климатических условий Кот-д'Ивуара. Иваново, ИГЭУ, 2021 г – 175 с

2.

*Шестаков А.П., студ.; рук. Григорьев Е.Ю.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БОЙЛЕРНОЙ УСТАНОВКИ ТЭС

В зимний период для обогрева помещений станций и создания тепловых завес, используют бойлера сетевой воды. Пар, используемый для нагревания воды, конденсируя под давлением выше атмосферного, за счет того, что сетевая вода на выходе из бойлера имеет температуру выше 100°C. За счет высокого давления методика расчета процесса конденсации в бойлере отличается от процесса в главном конденсаторе.

Бойлер представляет собой корпус, изготовленный из металлической цилиндрической обечайки; трубную систему, состоящую из верхней и нижней камеры, которые соединяются теплообменными трубками, проходящими через паровое пространство.

Для подробного расчета требуется знать геометрические данные и входные параметры воды и пара, на основе которых строится математическая модель отдельно для каждого протекающего термодинамического процесса, после чего производится балансировка модели и взаимодействия протекающих процессов. Создание математической модели точно соответствующей физической модели, проблематично, за счет того что физический аналог имеет собственные недостатки в производстве: различие в плотности металла, коэффициента теплопроводности и прочих характеристик; из-за чего в математическую модель необходимо добавлять поправочные коэффициенты.

Так же бойлер осуществляет теплообмен между конденсатом и поступающей сетевой водой, что уменьшает энтальпию выходящего конденсата. Следовательно, в бойлере протекают одновременно два процесса: конденсация пара из отбора и теплообмен конденсата с сетевой водой.

Математическая модель бойлерной установки на примере пермской ГРЭС энергоблока 850МВт включает два параллельно подключенных основных бойлера, последовательно подключенного пикового бойлера. Конденсат пара бойлеров каскадно сливается с пикового в основные, затем направляется в смешивающий ПНД-2 основного тракта регенеративного подогрева конденсата.

Математическая модель позволяет проанализировать различные режимы работы бойлерной установки, а также имитировать различные виды ситуаций: разрыв трубной системы.

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

ВЫБОР СХЕМЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

Котлы-утилизаторы играют ключевую роль в современных энергетических системах, позволяя эффективно использовать вторичные энергоресурсы, такие как тепло отходящих газов промышленных установок, двигателей внутреннего сгорания или газовых турбин.

Основные схемы котлов-утилизаторов можно разделить на несколько типов: одноконтурные, двухконтурные и многоконтурные [1]. Одноконтурные схемы наиболее просты в реализации и обслуживании, но имеют ограниченную гибкость в регулировании параметров теплоносителя. Двухконтурные и многоконтурные схемы позволяют более точно управлять процессом теплообмена, что особенно важно при работе с источниками тепла с переменными параметрами, такими как газы от газотурбинных установок.

При выборе схемы котла-утилизатора необходимо учитывать следующие основные критерии:

- характеристики источника тепла: температура и состав отходящих газов, их объемный расход и стабильность параметров.
- требования к вырабатываемой энергии: необходимость производства пара, горячей воды или комбинированного выхода, а также требуемые параметры (давление, температура).

В зависимости от конкретных условий эксплуатации может быть выбрана схема с естественной или принудительной циркуляцией теплоносителя, а также с различными типами теплообменных поверхностей (трубчатые, пластинчатые и др.). В материалах доклада представлено сравнение различных типов котлов-утилизаторов парогазовых установок.

В заключение, выбор схемы котла-утилизатора должен основываться на комплексном анализе технических, экономических и экологических факторов. Правильно подобранная схема не только обеспечит эффективное использование вторичных энергоресурсов, но и снизит эксплуатационные затраты, что сделает проект экономически выгодным и экологически устойчивым.

Библиографический список

1. Трухний, А. Д. Парогазовые установки электростанций : учебное пособие / А. Д. Трухний. — Москва : МЭИ, 2013. — 648 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Тепловые электрические станции

<i>Ключников В.А. Оптимизация системы централизованного теплоснабжения котельной "Центролит" в г Липецк; рук. Барочкин А.Е.</i>	<i>4</i>
<i>Копнышева К.А. Оптимизация теплового узла в г Оренбург; рук. Барочкин А.Е.</i>	<i>5</i>
<i>Копнышева К.А. Результаты испытаний тепловых сетей Кировской ТЭЦ-3; рук. Барочкин А.Е.</i>	<i>6</i>
<i>Пшенникова П.Д. Переход на закрытую схему ГВС потребителей в г Тула; рук. Барочкин А.Е.</i>	<i>7</i>
<i>Гостилев С.Д. Модернизация системы технического водоснабжения блоков № 1,2 Калининской АЭС; рук. Барочкин А.Е.</i>	<i>8</i>
<i>Неделькина В.Д. Результаты испытаний тепловых сетей Кировской ТЭЦ-5; рук. Барочкин А.Е.</i>	<i>9</i>
<i>Мокрушин А.А. Результаты испытаний тепловых сетей Кировской ТЭЦ-4; рук. Барочкин А.Е.</i>	<i>10</i>
<i>Летков Е.В. Переключение тепловой нагрузки на Тульскую ТЭЦ-ПВС АО "КМЗ"; рук. Барочкин Е.В.</i>	<i>11</i>
<i>Веренин А.А. Оценка факторов, влияющих на эффективность разделения сепараторов; рук. Шувалов С.И.</i>	<i>12</i>
<i>Жуков В.Н. Модернизация гидравлической части системы регулирования турбины К-1000-5,9/50; рук. Панков С.А.</i>	<i>13</i>

<i>Белов М.Н.</i> Система контроля вибрации рабочих лопаток паровой турбины; <i>рук. Панков С.А.</i>	14
<i>Гостиллов С.Д.</i> Проблемы эксплуатации теплообменного оборудования; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i>	15
<i>Бутаков Н.А.</i> Проблемы развития централизованного теплоснабжения в ДНР; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	16
<i>Селиверстов Д.П.</i> Современные проектные решения в энергетике: интеграция IT-технологий для повышения эффективности; <i>рук. Ставровский Е.С.</i>	17
<i>Федоров Д.С.</i> Определение поправок к показателям тепловой экономичности ГТУ; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	18
<i>Копнышева К.А.</i> Разработка методики расчета тепловых нагрузок турбоагрегата Т-50-130; <i>рук. Кокулин И.А.</i>	19
<i>Телегина А.М.</i> Перевод турбины ПТ-65-130/13 ЯТЭЦ-3 на режим работы с ухудшенным вакуумом; <i>рук. Кокулин И.А.</i>	20
<i>Михальцов Д.А.</i> Разработка математической модели процесса тепло-массообмена в испарительной установке мгновенного вскипания; <i>рук. Кокулин И.А.</i>	21
<i>Тоскина М.Д.</i> Анализ результатов бороскопического осмотра рабочих лопаток турбины ПТ-25-90/10; <i>рук. Кокулин И.А.</i>	22
<i>Телегина А.М.</i> Результаты испытаний тепловых сетей Кировской ТЭЦ-1; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	23
<i>Телегина А.М.</i> Мероприятия по повышению эффективности работы Сакмарской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	24

Михальцов Д.А. Разработка лабораторного практикума для расчета паровой турбины; рук. Кокулин И.А.	25
Михальцов Д.А. Расчет расходов мазута для контуров большой и малой циркуляции Омской ТЭЦ-4; рук. Барочкин А.Е.	26
Кутраков П.А. Обследование источников централизованного тепло-снабжения в ДНР; рук. Барочкин А.Е.	27
Кузнецов А.А., Шамигулин А.В. Недостаток горелок с радиальными лопатками завихрителя воздуха; рук. Потапов В.Н.	28
Кочетов В.А. Проблемы эксплуатации водоемов-охладителей; рук. Зиновьева Е.В.	29
Манин Н.Т. Оценка технического состояния тепловых сетей; рук. Барочкин А.Е.	30
Журова П. Результаты оценки технического состояния котельных; рук. Барочкин А.Е.	31
Будаков М.И. Увеличение установленной мощности Соликамской ТЭЦ-12 за счет строительства ПГУ; рук. Михеев П.Г.	32
Гостилев С.Д. Преимущества применения циркуляционных насосов с механизмом разворота лопастей; рук. Горшенин С.Д.	33
Безверхов М.В. Методы борьбы с биопомехами при эксплуатации теплообменного оборудования; рук. Зайцева Е.В.	34
Ахметзянова А.Т., Филимонов А.А. Производство электроэнергии методом биполярного обратного электролиза; рук. Филимонова А.А.	35

Некрасова В.Р. Реконструкция системы теплоснабжения медногорской ТЭЦ; рук. Барочкин Е.В.36

Морозов К.В. К вопросу о влиянии биопомех на работу теплообменного оборудования; рук. Зайцева Е.В.37

Андрианов В.М. Цели, задачи и методы гидродинамических расчетов трубопроводов; рук. Горшенин С.Д.38

Андрианов В.М. Разработка гидродинамической модели системы циркуляционных трубопроводов ТЭС; рук. Горшенин С.Д.39

Секция 2. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и промышленных предприятий

Лебедева А.А. Хроматографический анализ растворенных газов в трансформаторном масле; рук. Зайцева Е.В.41

Гусев Д.А. Исследование технологий Na-катионирования исходной воды перед установкой обратного осмоса; рук. Бушуев Е.Н.42

Ионкина А.С. Замещение импортных ионообменных смол на АЭС; рук. Еремина Н.А.43

Смирнова П.В. Анализ схем химического обессоливания воды с прямоточными и противоточными фильтрами; рук. Бушуев Е.Н.44

Тагунова Ю.В. Определение рабочих доз коагулянта; рук. Виноградов В.Н.45

Лебедева О.А. Исследование реагентных методов обработки исходной воды перед установкой обратного осмоса; рук. Бушуев Е.Н.46

Бобров Д.К. Контроль и управление ВХР системы оборотного охлаждения турбогенератора ТЗВ-1200-2АУЗ АЭС; рук. Ларин Б.М.47

Секция 3. Химия в энергетике

<i>Маканин К.О. Остекловывание радиоактивных отходов ; рук. Ярунина Н.Н.....</i>	<i>50</i>
<i>Подштыкин А.Л. Химия в переработке отработанного ядерного топлива рук. Иванова Н.Г.....</i>	<i>51</i>
<i>Смирнов Е.М. Влияние вывода из эксплуатации АЭС на экологию ; рук. Иванова Н.Г.....</i>	<i>52</i>
<i>Бердаков А.М. Водоподготовка на теплоэнергетических предприятиях в Иванове; рук. Хрипкова Л.Н.....</i>	<i>56</i>
<i>Рябинин Г.В. Мембранные технологии очистки воды; рук. Хрипкова Л.Н.....</i>	<i>53</i>
<i>Рыбакова А.В.. Применение твердооксидных топливных элементов для производства электроэнергии; рук. Ярунина Н.Н.....</i>	<i>54</i>
<i>Белозеров А.В. Покрытия для долговременной защиты металла и бетона в сфере энергетики рук. Ярунина Н.Н.....</i>	<i>55</i>

Секция 4. Теоретические основы теплотехники

<i>Колбашов И.В., Пахотина И.Н. Влияние на перегрев гидроцилиндра экскаватора регенерированного моторного масла; рук. Корочкина Е.Е.....</i>	<i>58</i>
<i>Березина Н.С., Березина С.С. О возможности использования программного комплекса FlowVision для теплотехнических расчётов; рук. Корочкина Е.Е.....</i>	<i>59</i>
<i>Михальцов Д.А., Малеева А.Е. Разработка мобильного приложения для дистанционной передачи данных тепловычислителей; рук. Ракутина Д.В.....</i>	<i>60</i>
<i>Смирнов Д.А. Моделирование и анализ ситуаций конвективного теп-</i>	

лообмена в VBA Excel; рук. <i>Созинова Т.Е.</i>	61
<i>Леднева А.С., Ильин А.А.</i> Оценка эффективности использования солнечного коллектора для горячего водоснабжения; рук. <i>Ракутина Д.В.</i>	62
<i>Зинуров В.Э., Чадаев А.Н.</i> Тепловой накопитель энергии.....	63
<i>Сергеев Е.А., Солодухин Е.О., Ратников М.А.</i> Автоматизированный комплекс для самоподготовки по разделу «Термодинамические свой- ства воды и водяного пара»; рук. <i>Ракутина Д.В.</i>	64
<i>Светушков И.И., Долинин Д.А.</i> Влияние аэрационных фонарей на со- стояние микроклимата; рук. <i>Бухмиров В.В.</i>	65
<i>Пшенникова П.Д., Смирнов И.А.</i> Разработка базы заданий для самосто- ятельной работы студентов по теме «Влажный воздух»; рук-ли <i>Ракутина Д.В., Пекунова А.В.</i>	66
<i>Шестова А.С.</i> Использование математической программы SMath для выполнения термодинамических расчетов; рук. <i>Бушуев Е.Н.</i>	67
<i>Лётин К.А., Лебедева С.А.</i> Выбор оптимальной толщины теплоизоля- ционного материала для теплоэнергетического оборудования; рук. <i>Корочкина Е.Е.</i>	68.
<i>Проскурнин А.А.</i> Органический цикл Ренкина; рук. <i>Бушуев Е.Н.</i>	69
<i>Елисеев В.В.</i> Применение математической модели пароводяного сосуда для оптимизации режимов работы компенсатора давления; рук. <i>Созинова Т.Е.</i>	70
<i>Новиков Н.М., Кузьмин А.А.</i> Программа для обучения студентов по теме «Характерные процессы изменения состояния идеальных газов» дисциплины «Теоретические основы теплотехники»; рук. <i>Созинова Т.Е.</i>	71
<i>Стукалова Е.С., Хитрова А.М.</i> Исследование условий устойчивости явной разностной схемы; рук. <i>Гаськов А.К.</i>	72

Стукалова Е.С., Хитрова А.М. Эффективность применения терморазрыва в ограждающих конструкциях зданий; рук. Гаськов А.К.....	73
Лобанов Д.В., Мельников И.С. Анализ применения уравнения Ван-дер-Ваальса для изучения термодинамических свойств реальных газов; рук. Жолобова А.Ю.....	74
Сулейманов М.Г. Влияние неравномерности температурного поля на время нагрева пористой садки; рук. Бухмиров В.В.....	75

Секция 5. Промышленная теплоэнергетика

Н.М. Худяков Применение АБТН в тепловой схеме АЭС; рук. Ярунин С.Н.	78
А.С. Румянцев Организация отвода тепла от контура охлаждения системы управления и защиты энергоблоков РБМК рук. Козлова М.В.	79
Д.В. Падерина Повышение эффективности работы паровой котельной рук. Козлова М.В.	80
Н.Ю. Кемаев, И.Ю. Рудаков Эффективные способы очистки загрязненных газов рук. Коновалов А.В.	81
Н.С. Березина, С.С. Березина Особенности работы теплонасосной установки «воздух — вода» при переходных процессах в баке-аккумуляторе рук. Банников А.В.	82
Ю.В. Антонова Исследование влияния температуры морской воды на энергопотребление дистилляционной опреснительной установки рук. Козлова М.В.	83
Д.А. Золин Определение количества недоиспользованной	

потребителями тепловой энергии <i>рук. Банников А.В.</i>	84
<i>Е.Д. Новикова</i> Применение газопоршневых установок для автономного энергоснабжения <i>рук. Васильев С.В.</i>	85
<i>Р.Д. Семяшкин</i> Режимы регулирования системы отопления здания <i>рук. Сенников В.В.</i>	86
<i>Р.Д. Семяшкин</i> Экспресс-аудит системы теплоснабжения жилых зданий по данным показаний узла учета <i>рук. Сенников В.В.</i>	87
<i>А.Р. Тимершин</i> Возможность компримирования дымовых газов пароструйным компрессором <i>рук. Плотникова Л.В.</i>	88
<i>Н.А. Смирнов</i> Анализ способов повышения эффективности системы оборотного водоснабжения АЭС <i>рук. Ярунин С.Н.</i>	89
<i>Д.А. Сизов, А.А. Данилова</i> Комплексный анализ материалов как объектов сушки <i>рук. Коновалов А.В.</i>	90
<i>Р.А. Глишнев</i> Использование теплоты сточных вод для систем теплоснабжения <i>рук. Коновалов А.В.</i>	91
<i>Р.Д. Семяшкин</i> Направления повышения эффективности работы термических опреснителей <i>рук. Козлова М.В.</i>	92
<i>А.Д. Слободин</i> Стратификация воздуха в газовой камерной печи <i>рук. Селиванов В.Ф.</i>	93
<i>И.А. Соловьев</i> Утилизация теплового потенциала сточных вод жилого дома <i>рук. Банникова</i>	94
<i>А.А. Таничев</i> Повышение эффективности работы ТЭЦ <i>рук. Васильев С.В.</i>	95
<i>М.Ю. Миронов</i> Разработка системы энергоснабжения тепличных хозяйств на базе когенерационных установок <i>рук. Козлова М.В.</i>	96

<i>Д.А. Смирнов, Г.И. Парфенов</i> Имитационное моделирование аэродинамических и тепломассообменных процессов в бактерицидном модуле <i>рук. Смирнов Н.Н.</i>	97
<i>М.О. Абышкин</i> Модернизация учебного стенда по термомобработке тканей <i>рук. Смирнов Н.Н.</i>	98
<i>С.А. Красоткин, М.В. Малков</i> Повышение энергетической эффективности системы теплоснабжения общественного здания <i>рук. Тимошин Л.И.</i>	99
<i>П.Е. Малякин</i> Повышение энергоэффективности Ярославской ТЭЦ-3 <i>рук. Васильев С.В.</i>	100
<i>А. А. Шохин</i> Повышение эффективности энергоснабжения от атомной электростанции <i>рук. Васильев С.В.</i>	101
<i>Н.С. Архипов</i> Модернизация котельной с водогрейными котлами <i>рук. Васильев С.В.</i>	102
<i>Г.И. Парфенов, С.О. Гордеев</i> Физическое натурное моделирование процесса теплопередачи через оконный блок с теплоотражающими экранами <i>рук. Смирнов Н.Н.</i>	103
<i>М. В. Палёнова</i> Повышение энергетической эффективности ПГУ-ТЭЦ <i>рук. Васильев С.В.</i>	104
<i>М.О. Абышкин, Д.А. Смирнов, Г.И. Парфенов</i> Разработка энергоэффективной здоровьесберегающей системы кондиционирования воздуха <i>рук. Смирнов Н.Н.</i>	105
<i>М.А. Хайдов, В.М. Кугданов</i> Наладка системы отопления здания <i>рук. Сенников В.В.</i>	106
<i>М. Д. Птицын</i> Автоматизация расчета котла-утилизатора ПГУ <i>рук. Васильев С.В.</i>	107
<i>А.Г. Филиппова</i> Оценка влияния типа рабочего агента на эффективность работы теплового насоса при опреснении морской воды <i>рук. Козлова М.В.</i>	108

Секция 6. Автоматизация технологических процессов

Грызунов А.А., Федосеев В.Н. Разработка системы управления теплообеспечением при использовании теплоэнергетического оборудования; *рук. Блинов О.В.*.....110

Карманов Д.А., Лобанов Д.В. Особенности создания виртуальной промышленной системы управления;
рук. Ставров С.Г......111

Карманов Д.А., Лобанов Д.В. Анализ пакетов MODBUS TCP/IP с помощью программы WIRESHARK;
рук. Ставров С.Г......112

Лебедева С.А., Лётин К.А. Интеграция CODESYS, VISSIM и TRACE MODE через OPC-СЕРВЕР;
рук. Блинов О.В.,113

Карманов Д.А., Лобанов Д.В. Использование СУБД реального времени SIAD/SQL в SCADA TRACE MODE 6;
рук. Ставров С.Г......114

Лобанов Д.Л. Решение дифференциальных уравнений в системах компьютерной математики; *рук. Торопова Е.К.*.....115

Сырова В.А. Система автоматизации измерителя ВЧ мощности Берстоу; *рук. Бударагин Р.В.*.....116

Секция 7. Паровые и газовые турбины

Курзина Т.Д. Регулирование температуры воздуха подаваемой КБОУ, в компрессор газовой установки ; *рук. Буданов В.А.*.....118

Муравьев И.К. Моделирование работы газотурбинной установки с оценкой влияния режимных факторов на устойчивость горения в камере сгорания; *рук. Виноградов А.Л.*.....119

Моторин А.Л. Проектирование ТЭС. Этапы; рук. Григорьев Е.Ю.....	120
Бабанов Н.С. Компьютерное моделирование системы маслоснабжения; рук. Киселев А.И.....	121
Ефремов А.П. Промывочный метод очистки компрессора ГТУ; рук. Григорьев Е.Ю.....	122
Керенков А.В. Влияние балансировки роторов на вибрацию валопровода; рук. Киселев А.И.....	123
Крайнов Д.М.. Сравнение экономических схем утилизационных ПГУ с несколькими контурами регенерации; рук. Буданов В.А.....	124
Чипсанов В.А. Методы повышения энергоэффективности газоперека- чивающих агрегатов; рук. Григорьев Е.Ю.....	125
Баротов М.М. Тепло-Электрогенерация Таджикистана ; рук. Григорьев Е.Ю.....	126
Нямба И.Р. Использование термического способа подготовки воды для восполнения потерь водного теплоносителя цикла ПГУ; рук. Григорьев Е.Ю.....	127
Шестаков А.П. Математическое моделирование бойлерной установки ТЭС ; рук. Григорьев Е.Ю.....	128
Богатов Д.Н. Выбор схемы котла-утилизатора; рук. Буданов В.А.....	129

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ДВАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ (ДВЕНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ) НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЭНЕРГИЯ-2025»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ТОМ 1

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 10.04.2025. Формат 60х84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 8.14
Тираж электронное издание. Заказ № 112.
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.