

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

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2022»

СЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

г. Иваново, 11-13 мая 2022 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1

ИВАНОВО

ИГЭУ

2022

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА // Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2022»: материалы конференции. В 6 т. Т. 1. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2022. – 215 с.

ISBN 978-5-00062-528-6

ISBN 978-5-00062-524-8 (Т.1)

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

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

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

Зам. председателя: начальник управления НИРС и ТМ, к.т.н., доц. **А.В. МАКАРОВ**.

Члены оргкомитета по направлению: декан теплоэнергетического факультета, к.т.н., доц. **С.Б. ПЛЕТНИКОВ**; и.о. зав. кафедрой тепловых электрических станций, к.т.н., доцент **С.Д. ГОРШЕНИН**; зав. кафедрой химии и хими-ческих технологий в энергетике, к.т.н., доц. **Н.А. ЕРЁМИНА**; зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики, к.т.н., доц. **А.В. БАННИКОВ**; зав. кафедрой автоматизации технологичес-ких 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 **М.В. КОЗЛОВА**.

СЕКЦИЯ 1

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель –
к.т.н., доцент **Горшенин С. Д.**

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

**В.В. Большова, студ., Р.Е. Безруков, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)**

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНЫХ ДЕАЭРАТОРОВ

Одним из требований, предъявляемых к работе вакуумных деаэраторов, является обеспечение содержания кислорода в деаэрированной воде не более 50 мкг/кг. В этой связи оптимальным нагревом воды в деаэраторе является минимальный нагрев, при котором обеспечивается требуемое содержание кислорода в деаэрированной воде. Опыт эксплуатации вакуумных деаэраторов показывает, что типовые вакуумные деаэраторы на разных объектах имеют разные технические характеристики. К числу таких характеристик может быть отнесен оптимальный нагрев воды в деаэраторе.

Согласно [1] оптимальный нагрев воды на разных объектах составляет от 5 до 15°C. Кроме того, опыт эксплуатации вакуумных деаэраторов показывает, что оптимальный нагрев может составлять 5 - 25°C.

Кроме того, опыт эксплуатации вакуумных деаэраторов показывает, что в процессе эксплуатации дегазационная характеристика деаэратора может изменяться при неизменных температурных и гидродинамических параметрах режима работы деаэратора [2]. При этом оптимальный нагрев воды в деаэраторе может как увеличиваться, так и уменьшаться. Причина, вызвавшая изменение дегазационной характеристики, как правило, остается неизвестной, так как теоретические положения о термической деаэрации не дают оценки данному явлению [3].

Библиографический список

1. **Типовая инструкция** по эксплуатации автоматизированных деаэрационных установок подпитки теплосети. М.: Союзтехэнерго, 1985.
2. **РТМ 108.030.21-78.** Расчет и проектирование термических деаэраторов. Л.: ЦКТИ, 1979.
3. **Бравиков А.М.** Разработка и исследование деаэратора перегретой воды. - Теплоэнергетика, 1990, № 12.

*Т.М. Вахитова, студ.; рук. А.Ш. Низамова, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ, НОМИНАЛЬНЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ТОПЛИВА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛИЩНОГО КОМПЛЕКСА

Определение расхода топлива на источниках теплоснабжения является одной из главных задач технико-экономического анализа эффективности работы теплоисточника. Проведенный анализ методов определения нормативного, номинального и фактического расхода топлива позволяет выделить особенности их расчета на источнике теплоснабжения, отражает их суть и физический смысл.

Нормативный расход характеризуется как максимально допустимая, но при этом технически обоснованная величина удельного потребления топлива для производства тепловой энергии, другими словами это рациональная допустимая норма потребления топлива на единицу тепловой энергии, отпускаемой в тепловую сеть.

Номинальный расход топлива характеризуется удельным расходом топлива на отпуск тепла, расчет которого выполнен на основе характеристик энергетического оборудования и различных внешних факторах влияния имеющих значение при фактической оценке конкретного оборудования теплоисточника [1].

Фактический расход топлива в теплоисточнике характеризуется эмпирической оценкой расхода топлива. Впер.комб для обеспечения потребителей тепловой энергией в необходимом количестве и производится в следующем порядке: определяется полезный отпуск тепловой энергии, который необходим для потребителей, к которому суммируются нормативная величина потерь тепловой энергии в магистральных и распределительных сетях, сумма указанных значений составляет отпуск тепловой энергии с коллекторов источника, который умножается на удельный расход топлива, определенный эмпирическим путем.

Библиографический список

1. **Ваньков Ю.В.**, Ротач Р.Р. Методика оценки энергетической эффективности источников централизованного теплоснабжения. Энергетика и энергоснабжение: теория и практика, 2018. 113 с.

*А.Н. Вивчар, В.А. Сердюков, О.Ю. Сигитов
(ПАО «Мосэнерго», г. Москва)*

ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

В конце 2014 года в Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» были внесены изменения, которыми было установлено, что инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу может проводиться инструментальными и расчетными методами, при этом инструментальные методы имеют приоритет перед расчетными.

Например, для расчета выбросов оксидов серы при сжигании топлива широко используется расчетный метод, который основан на гипотезе, что вся содержащаяся в топливе сера при сжигании окисляется и превращается в сернистый ангидрид. В качестве аргументов в расчетную формулу входят масса топлива и содержание в нем серы, значения которых определяются прямыми измерениями. В этом и заключается коллизия: с одной стороны, использование одних измеряемых аргументов – массы топлива и содержания в нем серы – является признаком расчетной методики, а применение других измеряемых аргументов – площади сечения газохода, скорости газов и концентрации загрязняющего вещества – признаком инструментальной методики.

В 2020-2021 гг. проведена масштабная работа по сравнению результатов определения выбросов от котельного оборудования инструментальными и расчетными методами. По результатам сравнения были получены следующие относительной разности инструментальных и расчетных значений:

- выбросы оксидов азота при сжигании газа – 2,5 %, мазута – 11,2 %;
- выбросы оксида углерода при сжигании газа – 1,6%, мазута – 13,1%;
- выбросы диоксида серы при сжигании мазута или смеси газа и мазута – 16,5 %;
- выбросы твердых частиц при сжигании мазута или угля – 7,7 % и 9,5 % при использовании двух различных расчетных формул.

В результате проведенных работ было показано, что расчетные методики, применяемые в компании, безусловно соответствуют нормативным требованиям и имеют значительно более низкую погрешность, чем допускается для инструментальных методов, а также неоднозначность разделения методик определения выбросов.

*А.Д. Водениктов, асп; рук. Н.Д. Чичирова
(КГЭУ, г. Казань)*

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ТЭС

Тепловые и атомные электростанции составляют основу российской энергосистемы. Особенность технологического процесса производства электрической и тепловой энергии обуславливает использование различных теплообменных аппаратов в тепловых схемах ТЭС и АЭС. Несмотря на то, что теплообменные аппараты не являются основным оборудованием электростанций, от их состояния зависит надежность и экономичность работы паровых турбин и систем подогрева сетевой воды.

Вопросу мониторинга и оценки состояния теплообменного оборудования уделено много внимания как в отечественной, так и в зарубежной литературе.

В работе [1] представлена система диагностики конденсатора, обеспечивающая мониторинг основных показателей работы конденсатора, которая на основании собранных данных способна сигнализировать эксплуатационному персоналу о нарушениях работы.

Однако, существующие системы мониторинга не могут обеспечить автоматическое определение неисправностей, возникающих в работе конденсационной установки.

Автором предложен алгоритм, позволяющий в существующих системах мониторинга определять коэффициент состояния поверхности теплообмена теплообменного аппарата, а также выявлять наиболее вероятную причину неисправности.

Библиографический список

1. **Цернер, В.** Задачи диагностики паровых турбин и система диагностики «Сименс» / Цернер В., Андреа К. // Теплоэнергетика. – 1993. – №5. – С. 65–72.

*С.Н. Ленёв, В.Б. Перов, А.Н. Вивчар
(ПАО «Мосэнерго», г. Москва)*

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СПГ-КОМПЛЕКСА НА ТЭЦ

Применение сжиженного природного газа (СПГ) в качестве резервного топлива на ТЭЦ по сравнению с традиционными видами (мазут, дизельное топливо) обладает рядом преимуществ, в числе которых меньшие выбросы CO₂, более высокий КПД топливо-использующего оборудования, низкая токсичность, низкая коррозионная активность и т.д. Часть электростанций ПАО «Мосэнерго» может быть обеспечена резервным топливом в виде СПГ собственного производства.

Тогда условия внедрения СПГ-комплексов на ТЭЦ могут быть классифицированы по потенциалу вторичных энергоресурсов (класс 1-3) и условиям внедрения (классы А-С).

К классам 1-3 относятся:

1) Полное энергообеспечение комплекса СПГ за счет ВЭР - перепад избыточного давления на ГРП 12/1 кгс/см².

2) Частичное энергообеспечение комплекса СПГ за счет ВЭР- перепад избыточного давления на ГРП 6/0,7 кгс/см².

3) Энергообеспечение комплекса СПГ за счет выработки станции. К этому классу можно отнести станции с перепадом избыточного давления на ГРП 3/0,7 (и менее) кгс/см².

К классам А-С относятся объекты требующие возведения нового комплекса резервного топлива (КРТ) (класс А), требующие расширения имеющегося КРТ (класс В), не требующие расширения имеющегося КРТ (класс С).

Авторами проведена оценка технических показателей СПГ-комплекса для условий ТЭЦ-21 (класс 1, С) и ТЭЦ-22 (класс 1, А). Для условий производства и применения СПГ на ТЭЦ наиболее подходящими являются установки 90-100% ожигения входящего потока газа с внешним холодильным контуром на смесевом хладагенте или на азоте, которые обеспечивают состав регазифицированного СПГ, практически идентичный составу исходного газа.

Таким образом, в условиях размещения СПГ-комплекса на ТЭЦ необходимо предусматривать максимально возможное использование вторичных энергоресурсов. Предварительные оценки показывают, что для условий ТЭЦ ПАО «Мосэнерго» могут быть разработаны СПГ-комплексы, обеспечивающие высокую технико-экономическую эффективность.

*Д.Д. Львов, студ.; рук. В.О. Киндра, к.т.н., ст. преп.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОТИВОДАВЛЕНЧЕСКИХ ТУРБОУСТАНОВОК НА СТРУКТУРУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЫ, ПОДВОДИМОЙ К ТУРБОУСТАНОВКЕ

В энергетическом парке России эксплуатировалось 68 паровых турбин семейства Р-50 и 18 паровых турбин семейства Р-100 общей мощностью 5,2 ГВт. В начале 21 века, среднегодовая нагрузка рассматриваемых турбин составляла всего 37% или 1,9 ГВт. Для возобновления работы ТЭЦ с турбинами типа Р необходимо модернизировать существующие энергоблоки.

В данной работе представлены результаты термодинамического анализа различных методов модернизации ТЭЦ с турбинами типа Р: надстройка конденсационной турбины и надстройка контура, работающего на низкокипящем рабочем теле (НРТ). Было установлено, что при температуре наружного воздуха равной 20 °С при модернизации с помощью надстройки приключенной турбины возможно достичь прироста мощности нетто с 20,69 % до 36,08%, в то время как при модернизации путём настройки контура с НРТ возможно достичь прироста мощности нетто с 20,69% до 34,03%.

Структура распределения теплоты, подводимой к турбоустановке, представленная на рисунке 1, показывает значительные потенциал для увеличения выработки мощности:



Рисунок 1 - Структура распределения теплоты для различных вариантов противоаварийных турбоустановок в конденсационном режиме работы (без отпуска теплоты потребителю) при температуре наружного воздуха 20 °С: 1 - потери в холодном источнике; 2 - электрическая мощность турбины типа Р; 3 - мощность нетто приключенной турбины; 4 - мощность нетто CO₂ турбины.

Стоит отметить, что возможно достичь большей эффективности в установках с контуром НРТ при более низких температурах за счёт увеличения располагаемого теплоперепада углекислотной турбины, так как в этих установках используется воздушный конденсатор.

*К.М. Мирсалихов, асп.; рук. Н.Д. Чичирова, д.х.н, проф.;
А.М. Грибков, к.т.н, доц.
(КГЭУ, Казань)*

НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТРАЕКТОРИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЫМОВОГО ФАКЕЛА МНОГООТВОРНОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ

Одним из возможных способов определения траектории движения дымового факела является фиксация угловых координат границ дымового факела и направления его распространения с помощью аэрологического шаропилотного теодолита (АШТ). В данной работе показан пример траектории дымового факела, от трехствольной дымовой трубы водогрейной котельной «Азино» (АО «Татэнерго») расположенной в г. Казань. В таблице: ε_{i1} и ε_{i2} – вертикальные углы нижней и верхней границы дымового факела соответственно, °; α_i – разность значений горизонтального угла замеряемой точки и горизонтального угла устья дымовой трубы; x_i – расстояние от устья дымовой трубы до замеряемой точки по горизонтали, м; z_{i1} и z_{i2} – ординаты нижней и верхней границ факела относительно устья трубы, м. Угол между направлением распространения дымового факела и направлением на дымовую трубу с точки съемки составлял $100(\pm 5)$ град. Зная параметры выброса и траекторию дымового факела, можно оптимизировать выходную часть многоствольных дымовых труб.

Таблица 1 - Обработанные результаты замеров

$\varepsilon_{i1}, ^\circ$	$\varepsilon_{i2}, ^\circ$	$\alpha_i, ^\circ$	$x_i, \text{М}$	$z_{i1}, \text{М}$	$z_{i2}, \text{М}$
12,5	13,5	0,0	0,0	0,0	19,1
12,4	16,2	1,0	14,2	2,4	57,9
14,5	16,3	2,0	28,2	32,0	58,4
12,4	14,0	3,0	42,2	1,0	24,0
***	***	***	***	***	***

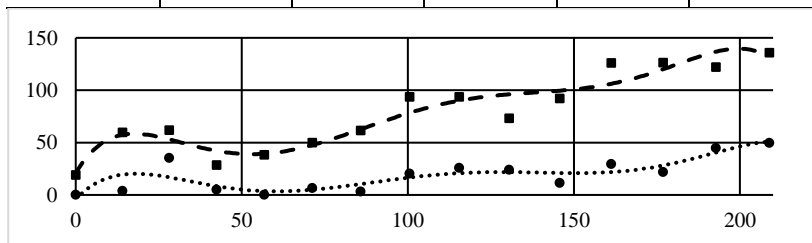


Рисунок 1 - Траектория дымового факела по результатам расчетов

*Р.Е. Молдажанов, студ.; рук. О.А. Степанова, к.т.н., доц.
(Университет Шакарима, г. Семей)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Парогазовые установки имеют достаточно высокий коэффициент полезного действия. В последние годы они получают все большее распространение. Их отличает надежность и маневренность. Также можно отметить и экологичность работы парогазовых установок. По-этому все чаще рассматривается вопрос о их роли и эффективности в энергетическом секторе, что является актуальным в вопросах когене-рации [1, 2, 3].

Цель работы - проведение энергетического анализа парогазовой установки, работающей на низкотемпературных рабочих телах.

В результате проведения работы:

- выбрана схема и рабочие тела парогазовой установки;
- проведен энергетический анализ парогазовой установки;
- установлены слабые и сильные стороны парогазовых установок.

Новизна полученных результатов заключается в проведении энергетического анализа парогазовой установки для климатических условий Восточного Казахстана.

Научная и практическая значимость проведенных исследований заключаются в получении уравнений регрессии, описывающих эффективность работы парогазовой установки. Также проведена оценка энергетической эффективности слабых и сильных сторон парогазовой установки на низкокипящих рабочих телах.

Библиографический список

1. **Галишина Г.В.**, Гришин А.Н. Парогазовая установка на базе газотурбинной установки gt26 и котла-утилизатора П-96. Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2020. № 1 (22). С. 38-40.
2. **Махнутин А.К.**, Кавалеров Б.В. О вопросах применения газотурбинных установок и парогазовых установок в энергетике. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2015. № 15. С. 84-96.
3. **Новоселова М.С.**, Мингазов Н.Р. Методы повышения мощности газотурбинной установки и парогазовой установки. В сборнике: Тинчуринские чтения - 2021 "Энергетика и цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2021. С. 185-188.

Д.С. Писарев, асп.; В.Ю. Наумов, асп.; рук. А.Н. Рогалев, д.т.н., доц.
(НИУ “МЭИ”, г. Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УГЛЕКИСЛОТНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ПЫЛЕУГОЛЬНЫМ КОТЛОМ

Переход к энергоблокам на ультрасверхкритические параметры пара с давлением более 35 МПа и температурой до 760°C является возможным способом повышения эффективности производства электроэнергии. Увеличение начальных параметров ведет к значительному росту стоимости «горячих» деталей котла, паропроводов и турбины. Из-за роста стоимости оборудования экономический эффект от роста КПД нетто энергоблоков может быть нивелирован и себестоимость электроэнергии может оказаться слишком большой.

Альтернативным способом повышения эффективности пылеугольных энергоблоков является переход от традиционных паровых циклов к сверхкритическим циклам на диоксиде углерода, наиболее эффективным из которых является рекомпрессионный цикл Брайтона [1].

По результатам проведенного исследования была проведена оптимизация параметров тепловых схем пылеугольных энергоблоков с углекислотным рекомпрессионным циклом Брайтона (рис. 1).

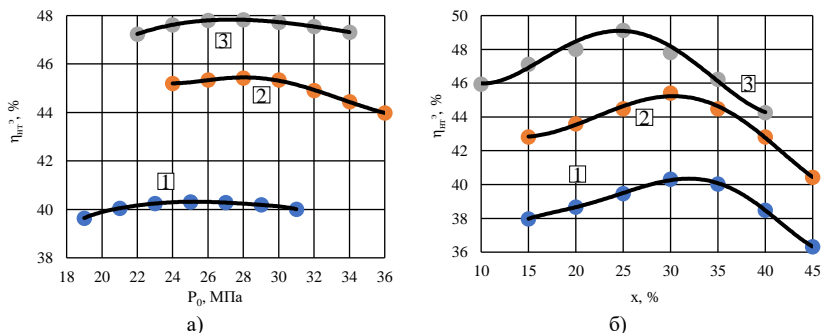


Рисунок 1 - Зависимость КПД нетто от начального давления (а) и доли рекомпрессии (б) для различных начальных температур: 1 – 540°C; 2 – 650°C; 3 – 780°C.

Библиографический список

1. Рогалев А.Н., Киндра В.О., Зонов А.С., Постникова М.С., Наумов В.Ю. Термодинамические циклы на сверхкритическом диоксиде углерода для ТЭС и АЭС. Новое в российской электроэнергетике. 2021. № 1. С. 6–19.

Д.А. Мечник, М.А. Островский, студ.; рук. С.К. Осипов, к.т.н.
(НИУ “МЭИ”, г. Москва)

РАЗРАБОТКА ЗАКРЫТОЙ СИСТЕМЫ АЗОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

При производстве электроэнергии за счет органического топлива имеют место значительные выбросы диоксида углерода в атмосферу. Переход к кислородно-топливным энергетическим комплексам, рабочим телом в которых является сверхкритический CO₂, позволяет уменьшить выбросы диоксида углерода до 99%. Наиболее эффективным из таких комплексов является цикл Аллама. Максимальный КПД цикла достигается при температуре 1100°C и равен 46%, при дальнейшем увеличении начальной температуры возрастает расход хладагента и снижается КПД цикла из-за увеличения потерь на охлаждение и в холодильном источнике вследствие снижения тепловой мощности регенеративной системы цикла Аллама.

Решить отмеченную проблему возможно путем перехода с углекислотного на азотный хладагент в системе охлаждения турбины, что позволит увеличить КПД на 1,5% при увеличении температуры с 1100 до 1300°C [1]. В настоящей работе разработана конструкция закрытой системы охлаждения лопатки первой ступени углекислотной турбины, представляющая собой размещенные по контуру лопатки цилиндрические каналы с варьируемым шагом и диаметром 2,7 мм. Численным моделированием установлено, что разработанная конструкция обеспечивает максимальную температуру стенки лопатки на уровне 985°C (рисунок 1).

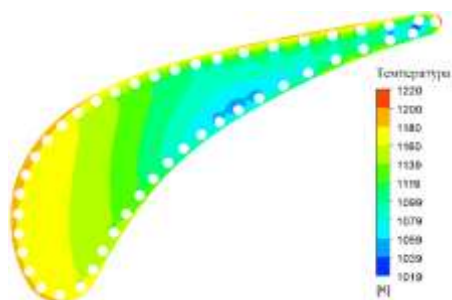


Рисунок 1 - Температурное поле лопатки на среднем сечении

Библиографический список

1. Kindra, V., Rogalev, A., Zlyvko, O., Zonov, A., Smirnov, M., & Kaplanovich, I. Research on oxy-fuel combustion power cycle using nitrogen for turbine cooling. Archives of Thermodynamics, 2020, 191202.

М.А. Островский, Д.А. Мечник, студ.; рук. С.К. Осипов, к.т.н.
(НИУ “МЭИ”, г. Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ХЛАДАГЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КИСЛОРОДО-ТОПЛИВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

На тепловых электрических станциях при производстве электроэнергии за счет органического топлива в атмосферу поступают вредные вещества, в частности диоксид углерода. Увеличение вредных выбросов ведет к всемирной проблеме глобального потепления. В связи с этим необходимо уменьшать выбросы углекислого газа на генерирующих предприятиях [1].

Одним из способов решения проблемы по снижению выбросов CO₂ на ТЭС является переход к кислородно-топливным энергетическим циклам. Наиболее эффективным из таких комплексов является цикл Аллама, максимальный КПД 46,9% которого достигается при температуре 1100°C. Установлено, что дальнейшее увеличение начальной температуры цикла Аллама свыше 1100°C на каждые 100°C приводит к снижению КПД на 1,5% (рисунок 1). Отмеченный эффект объясняется увеличением потерь на охлаждение и потерь в холодном источнике вследствие снижения тепловой мощности регенеративной системы цикла Аллама.

Результаты проведенных исследований влияния различных типов хладагента на КПД цикла позволили установить, что решить проблему возможно путем перехода к альтернативным видам теплоносителя в системе охлаждения. Применение закрытой азотной системы охлаждения позволяет повысить КПД цикла при увеличении начальной температуры с 1100 до 1300°C на 1,5%.

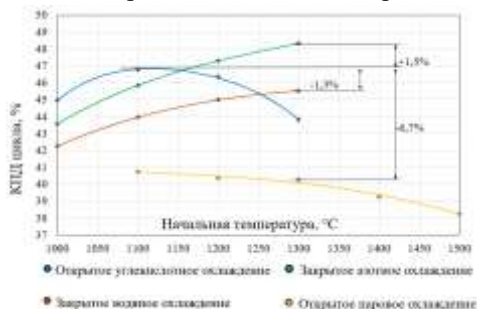


Рисунок 1 - Зависимость КПД цикла от вида хладагента

Библиографический список

1. A. Rogalev, N. Rogalev, V. Kindra, S. Osipov. Dataset of working fluid parameters and performance characteristics for the oxy-fuel, supercritical CO₂ cycle // Data in Brief. Volume 27, December 2019, 104682

М.А. Островский, Д.А. Мечник, студ.; рук. С.К. Осипов, к.т.н.
(НИУ “МЭИ”, г. Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ПЕРВОЙ СТУПЕНИ УГЛЕКИСЛОТНОЙ ТУРБИНЫ НА УРОВЕНЬ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ

В условиях постоянного увеличения вредных выбросов диоксида углерода перспективы экологически безопасного производства электроэнергии в будущем связывают с переходом к высокоэффективным кислородно-топливным энергетическим комплексам. [1].

Плотность рабочего тела углекислотной турбины больше плотности рабочих тел ГТУ и ПТУ в 36 и 1,25 раз соответственно. В виду большей плотности рабочего тела лопатки первых ступеней имеют небольшую высоту, в связи с этим актуальной является задача определения влияния высоты лопатки на уровень потерь энергии при параметрах углекислотного рабочего тела на входе температуре 1100°C и давлении 30 МПа.

Результаты численного моделирования позволили установить, что оптимальным с точки зрения минимизации потерь во всем канале оказалась лопатка высотой 20 мм (рисунок 1). Установлено, что при увеличении высоты лопатки с 10 мм до 20 мм происходит уменьшение концевых и профильных потерь на 14,2% и 11% соответственно. Увеличение в свою очередь высоты лопатки с 20 мм до 25 мм приводит к увеличению концевых и профильных потерь на 7% и 12,5% соответственно.

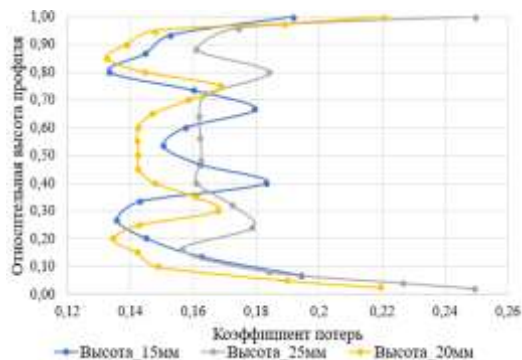


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента потерь от относительной высоты лопатки

Библиографический список

1. A. Rogalev, N. Rogalev, V. Kindra, S. Osipov. Dataset of working fluid parameters and performance characteristics for the oxy-fuel, supercritical CO₂ cycle // Data in Brief. Volume 27, December 2019, 104682

*К.К. Паушкина, асп.; рук. Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., доц.
(НИ ТПУ, г. Томск)*

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЕНИЯ КАПЛИ КОМПОЗИЦИОННОГО ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ НА ПОВЕРХНОСТЯХ СТАЛИ С РАЗЛИЧНОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ

Перспективность использования топливных суспензий из угольных и нефтяных отходов обусловлена не только финансово-экономическими аспектами типичных компонентов, но и снижением загрязнения окружающей среды за счет уменьшения площадей полигонов для хранения твердых и жидких горючих отходов. Известно [1], что при интенсивном нагреве (температуры источника нагрева 800–900 °С) капель органоводугольных топлив (ОВУТ) протекает процесс диспергирования, характеризующийся увеличением эффективной площади поверхности капли топлива, что ведет к интенсификации воспламенения и увеличению скорости выгорания компонентов топлива. На практике предполагается распыление ОВУТ в топке котла посредством форсунок на капли, часть из которых до момента зажигания контактирует с внутренними разогретыми до высоких температур стенками и поверхностями топок [2]. В условиях зажигания и горения капель ОВУТ на поверхностях стали управлять временем зажигания и временем выгорания можно за счет шероховатости поверхности. Для уменьшения времени зажигания и выгорания капель ОВУТ при обработке поверхностей стали необходимо использовать абразивные материалы со средним размером зерна 100 мкм. Применение абразивных материалов со средним размером зерна более 100 мкм незначительно уменьшает время зажигания и время выгорания капель ОВУТ, но значительно увеличивает осаждение продуктов горения на модифицированных поверхностях стали. Лазерная обработка является наиболее перспективным способом модификации поверхностей нагрева с целью управления характеристиками горения капель ОВУТ, так как позволяет контролировать время зажигания и время выгорания в широком диапазоне значений, а также способствует значительному повышению стойкости поверхностей стали к осаждению твердых продуктов горения топлива. Исследование поддержано грантом Минобрнауки № 075-15-2020-806.

Библиографический список

1. He Q., Xie D., Xu R., Wang T., Hu B. The utilization of sewage sludge by blending with coal water slurry // *Fuel*. 2015. V. 159. P. 40–44.
2. Valiullin T. R., Vershinina K. Y., Medvedev V. V., Ozerova I. P. Ignition of hovering droplets of organic coal water fuels // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2019. V. 92, N 1. P. 228–239.

*В.А. Садовник, студ.; рук. Е.Е. Бойко, к.т.н.
(НГТУ, г. Новосибирск)*

ПЕРЕЧЕНЬ МЕРОПРИЯТИЙ НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ СЖИГАНИЯ НЕПРОЕКТНЫХ БУРЫХ УГЛЕЙ БОРОДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В ТОПКАХ КОТЛА ТПЕ-214/А

Котлы типа ТПЕ-214/А предназначены для работы на кузнецких углях марки "Г" и "Д", а также водоугольной суспензии. На Новосибирской ТЭЦ-5 рассмотрели вариант перехода на бурые угли Бородинского разреза. В ходе перевода станции выяснились следующие особенности: вследствие повышения взрывоопасности при подготовке и хранении топлива, возникла необходимость изменить температуру аэросмеси за мельницами; увеличилась интенсивность шлакования экранов и как следствие вероятность снижения максимальной мощности котлоагрегата; возросла нагрузка на систему золошлакоудаления; ухудшилась тонина помола.

В рамках проведенного анализа установили, что недостатки возможно устранить с помощью следующих модернизаций: огрубить тонину помола угольной пыли, путем модификации мельниц и сепараторов; установить аппараты водяной и паровой обдувки поверхностей нагрева; установить дополнительные дробилки шлака; уменьшить концентрацию кислорода в сушильном агенте и повысить температуры пылевоздушной смеси за мельницей.

Анализ подтвердил возможность сжигания данного вида топлива с устойчивым воспламенением в топке, несущественным уменьшением КПД на 0,3% и уменьшением выбросов NOx в 2 раза. На его основании сформированы рекомендации по модернизации котла, систем пылеприготовления, топливоподачи и вспомогательного оборудования.

Библиографический список

- 1. Сжигание непроектных марок угольного топлива на ТЭЦ /Васильев В.В [и др.] // Новости теплоснабжения. – 2012. – № 5. С. 41–44.**
- 2. Бойко, Е.А.** Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла): Учебное пособие / Е.А. Бойко, И.С. Деринг, Т.И. Охорзина. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2015. – 96 с.
- 3. РД 153–34.1–44.302–2001.** Методические указания по организации изменения топливного режима в связи с недостатком проектных углей на электростанциях РАО «ЕЭС России». – М.: СПО ОРГРЭС, 2001. – 10 с.
- 4. РД 34.44.101–96.** Типовая инструкция по хранению углей, горючих сланцев и фрезерного торфа на открытых складах электростанций. М.: СПО ОРГРЭС, 1997. – 34 с.

*Н.Н. Умыржан, А.И. Мануленко, студ.; Т.Н. Умыржан, преп.;
рук. А.Б. Касымов, PhD*

(НАО «Университет им. Шакарима», г. Семей)

РЕЦИРКУЛЯЦИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ КАК СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОПОЧНОГО ПРОЦЕССА

Актуальным вопросом эффективности теплообмена в энергетических котлах является обеспечение устойчивой работы и продление их сроков эксплуатации.

Одним из перспективных путей снижения выбросов оксидов азота, является совершенствование процессов теплообмена с помощью средств внедрения эффективных способов в топочной камере. Одно из таких направлений для тепловых агрегатов - рациональная организация процесса сжигания топлива применением рециркуляции дымовых газов.

Применение метода рециркуляции дымовых газов представляет научный и практический интерес, обуславливающий активную исследовательскую работу в Казахстане и зарубежом [1-3].

Целью работы авторов является исследование эффективности работы энергетических котлов в зависимости от условий рециркуляции дымовых газов.

Все теоретические исследования были проведены для семи коэффициентов рециркуляции дымовых газов. Аргументированность полученных данных в ходе работы подкрепляется графиками зависимостей характеристики от введения рециркуляции дымовых газов.

Авторами получены данные по проведению рециркуляции дымовых газов в топочной камере энергетических котлов на ТЭС, на основе которых был проведен анализ эффективности теплообменных процессов.

Библиографический список

- 1. Тасанбаев, С. Е.** Исследование процесса сжигания топлива в топочных камерах паровых котлов / С. Е. Тасанбаев, Исатай Рысбекулы Сапаргали, К. Е. Арыстанбаев. - Текст: непосредственный // Молодой ученый. - 2019. - № 39 (277). - С. 203-206.
- 2. Стенин В.А.** Совершенствование схемы рециркуляции дымовых газов в газомазутных котлах ТГМЕ-464 // Пром. энергетика. - 2019. - №7. - С.23-27.
- 3. SUN Junwei, DAI Weibao, YAN Weiping.** Influence of Different Flue Gas Recirculation Schemes on 1000 MW Ultra-supercritical Double Reheat Boiler [J]. JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL ENERGY AND POWER, 2019. 34 (5): 49-56.

*В.П. Жуков, д.т.н., проф.; А.Е. Барочкин, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

МАТРИЧНОЕ ОПИСАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КОНДЕНСАЦИОННОМ КОТЛЕ

Проблема энергосбережения отнесена к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ. В качестве одного из основных направлений повышения эффективности работы энергетических систем и установок является снижение потерь тепла с уходящими газами. Продукты сгорания природного газа содержат большое количество водяных паров и обладают значительным потенциалом для утилизации тепла. Полученный из уходящих газов конденсат водяных паров дополнительно может быть использован в тепловой схеме ТЭС как высококачественный теплоноситель, компенсирующий утечки рабочего тела в цикле. Несмотря на большое количество научных публикаций по данной теме и положительному опыту применения разработанных конструкций конденсационных теплоутилизаторов в промышленности и энергетики основная масса газовых котельных и ТЭС в настоящее время продолжают работать без внедрения установок глубокой утилизации тепла. Этому есть ряд причин, вызванных отсутствием универсальных методик расчета и проектирования теплоутилизаторов. Большинство существующих методов расчета основано на балансовых уравнениях по всему аппарату, где потоки теплоты и массы влаги рассчитываются по некоторым средним значениям параметров состояния взаимодействующих сред. Это может приводить к значительным погрешностям, поскольку разность потенциалов переноса существенно меняется по ходу процесса и предсказать заранее характер этих изменений возможно далеко не всегда.

Целью работы является повышение эффективности функционирования конденсационного котла путем его моделирования, идентификации модели и разработки на ее основе режимных карт. Научными результатами являются: разработана матричное описание теплопередачи в двух ступенчатом противоточном теплообменнике со скользящей границей фазового перехода применительно к конденсационному котлу; проведена идентификация расчетной модели, в ходе численных экспериментов получены и проанализированы решения модели с целью построения режимных карт промышленного конденсационного котла, показана достоверность и обоснованность предложенного подхода. Предложенные и идентифицированные модели могут эффективно применяться при актуализации режимных карт конденсационных котлов и решении задач проектирования тепломассообменных систем.

*Н.М. Гурин, студ.; рук. Ю.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ И ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ТУРБИНЫ Т-110-130

Пропускная способность турбины определяется пропускной способностью регулирующей ступени ЧВД и остальной проточной части.

При запасах по пропускной способности первых нерегулируемых ступеней ЧВД, определяемых в эксплуатации давлением в камере регулирующей ступени $P_{p.c.}$ (заданный максимальный расход пара $P_{p.c.} < P_{p.c. \max}$, где $P_{p.c.}$ — максимально допустимое давление в камере регулирующей ступени по условиям плотности разбега цилиндра), повышения расхода пара можно достичь изменением пропускной способности регулирующей ступени путем увеличения количества сопел в сопловых сегментах. Опыт увеличения расхода пара и соответственно мощности и тепловой нагрузки до 6 % турбин Т-100-12,8 имеется на Ново-Свердловской ТЭЦ. При отсутствии запасов по пропускной способности проточной части турбины увеличение расхода свежего пара может быть достигнуто снижением давления в камере регулирующей ступени путем замены диафрагмы первой ступени давления ЧВД на фальш-диафрагму, имеющую вместо лопаток ряд стоек, и разлопачивания диска этой ступени. Установка фальш-диафрагмы позволит стабилизировать поток пара после регулирующей ступени, сохранить неизменными размеры камеры регулирующей ступени и тем самым предотвратить возможность возникновения акустических резонансных колебаний и поломку лопаток ступеней.

Переделка диафрагмы на фальш-диафрагму может быть осуществлена региональными ремонтными организациями по технологии, разработанной ТМЗ. Накоплен положительный опыт длительной эксплуатации одной из турбин Т-100-12,8 на ТЭЦ-8 Мосэнерго, на которой с помощью этого метода примерно на 8,7 % увеличены расход свежего пара, электрическая мощность и тепловая нагрузка. Найденное конструктивное решение может быть применено для восстановления пропускной способности турбины при снижении (по условиям надежности котельного оборудования и трубопроводов) параметров свежего пара. Увеличение расхода пара в турбину обусловлено перегрузкой ступеней, особенно предотборных, и поэтому требует конкретного рассмотрения и разработки критериев эксплуатации.

*В.Н. Жуков, В.В. Ракитин, студ.; рук. Е.В. Зиновьева, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ

Как в мире, так и в России с каждым годом возрастает потребность в электроэнергии, что приводит к разработке и применению различных способов ее получения. В соответствии с положениями Энергетической стратегией России на период до 2035 года предполагается увеличение использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. К одному из возобновляемых источников энергии относятся и малая гидроэнергетика.

Малыми ГЭС в России принято считать объекты, мощностью менее 30 МВт, источниками энергии которых являются небольшие реки, ручьи, технологические водотоки (промышленные и канализационные сбросы) и др. [2].

Опыт Европейских стран в области внедрения объектов малой энергетики значительно богаче, нежели в России. Однако, несмотря на это, в настоящий момент в России насчитывается более ста подобных станций. Причем, работать малые ГЭС могут как и в единой российской энергосистеме, так и совершенно автономно.

Строительство таких станций целесообразно, в первую очередь, в удаленных районах децентрализованного энергоснабжения, являющихся энергодефицитными и занимающих до 40% территории России.

В районах централизованного энергоснабжения строительство малых ГЭС эффективно в том случае, если они будут пристройками к существующим водохранилищам, перепадам на каналах неэнергетического назначения, системам водоснабжения и т.д.

Развитие малой гидроэнергетики в регионах обеспечивает:

- надежное электроснабжение электроэнергией населенных пунктов в удаленных районах;
- создание собственных региональных генерирующих мощностей и снижение дефицита электроэнергии в регионе;
- снижение дотационности регионов, связанной с закупкой и завозом топлива в труднодоступные районы [2].

Библиографический список

1. **Официальный сайт** Министерства энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/sites/default/files/documents/11/10/1920/document-66308.pdf>
2. **Аванесов А.Д.** Обзор перспектив развития объектов малой гидроэнергетики в России и анализ решения проблем, связанных с их строительством и эксплуатацией /А.Д. Аванесов, Д.С. Балабошко [и др.] //Научные исследования.-2017.-№ 1(12).-С.101-104.

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

ПРОБЛЕМА СВЕДЕНИЯ БАЛАНСОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ПАРОГАЗОВЫМ УСТАНОВКАМ ТЭС

Сведение материальных и энергетических балансов по результатам изменения контролируемых параметров является необходимым этапом определения фактических значений технико-экономических показателей работы энергетического оборудования ТЭС.

Учитывая наличие в результатах измерения каждого параметра некоторой неопределенности, а также взаимосвязанность составляющих материального и энергетического балансов, оба указанных баланса по результатам измерений в общем случае не сводятся, а выявленные невязки балансов должны быть устранены путем корректировки результатов измерений. Поскольку система балансовых уравнений в большинстве случаев оказывается недоопределенной, указанную корректировку можно выполнить лишь оценочно. Полученное решение будет считаться не точным, но наиболее вероятным. Применительно к оборудованию паротурбинного цикла ТЭС такая задача решена ранее [1].

Парогазовые установки (ПГУ) как объект сведения балансов имеют существенные особенности. Так, в газотурбинных установках (ГТУ) материальный и энергетический балансы затрагивают разные теплоносители (воздух, топливо, дымовые газы), а также оборудование вспомогательных технологических систем. Кроме того, показатели работы ГТУ определяют и показатели работы котла-утилизатора (КУ), работа которого, в свою очередь, связана с работой паровой турбины (ПТ). Это означает, что для ПГУ уравнения материального и энергетического балансов по ГТУ, КУ, ПТ должны решаться совместно.

Разработка обоснованных методов сведения материальных и энергетических балансов для ПГУ при некорректно заданной исходной информации является актуальной задачей в научном и в практическом отношении. Предлагается расширить подход [1], учтя в нем специфику постановки задачи применительно к ПГУ.

Библиографический список

1. **Алгоритмы сведения** материальных и энергетических балансов при расчетах технико-экономических показателей оборудования ТЭС на основе метода регуляризации некорректных задач / Ледуховский Г.В., Жуков В.П., Барочкин Е.В., Зимин А.П., Разинков А.А. // Теплоэнергетика. 2015. № 8. С. 72-80. DOI: 10.1134/S0040363615080032.

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

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СВЕДЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСОВ НА ФАКТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГТУ

Решается задача обработки результатов измерения контролируемых параметров по ГТУ типа GTX-100 для определения фактических показателей тепловой экономичности. В качестве исходных приняты данные, содержащиеся в базе данных АСУ ТП ГТУ, за фактически отработанный месяц, а также результаты тепловых испытаний ГТУ. Целью является определение КПД брутто ГТУ по прямому и обратному балансам. КПД брутто ГТУ по прямому балансу определяется по результатам измерения выработки электроэнергии и суммарных затрат тепла в камеру сгорания. При расчете КПД брутто ГТУ по обратному балансу выработка электроэнергии определяется из уравнения энергетического баланса ГТУ. Результаты расчетов приведены на рисунке.

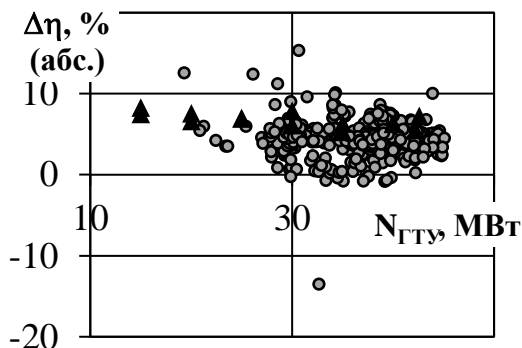


Рисунок 1 – Результаты расчетов: $\Delta\eta$, % (абс.) – отклонение значений КПД брутто ГТУ, рассчитанных по прямому и обратному балансам; $N_{ГТУ}$, МВт – электрическая мощность ГТУ; ▲ – по данным тепловых испытаний; ● – по данным учета фактических показателей работы (данным АСУ ТП)

Видно, что при различных методах сведения материального и энергетического балансов фактические значения КПД брутто могут быть получены с ошибкой в среднем 4,8 % и до 15 % по отдельным режимам. Это подтверждает актуальность разработки обоснованных методов сведения материальных и энергетических балансов по ГТУ при обработке результатов измерения контролируемых параметров.

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

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ОРСКОЙ ТЭЦ-1

Питательная установка Орской ТЭЦ-1 включает в себя 4 насоса ПЭ-500-180-3 производительностью 500 м³/ч и 1 насос ПЭ-380-185-2 производительностью 380 м³/час, предназначенные для подачи питательной воды в четыре котлоагрегата ТГМ-84 и один БКЗ 210-140 Ф.

С целью сокращения количества потребляемой энергии и обеспечения гибкого регулирования подачи воды при работе насосов предлагается рассмотреть несколько вариантов реконструкции питательной установки.

Вариант 1. Предлагается в группу насосов ПЭН дополнительно установить насос типа ПЭ-250-180 производительностью 250 м³/ч. Установка дополнительного насоса меньшей мощности позволит обеспечивать практически любой требуемый расход питательной воды при загрузке насосов близкой к номинальной.

Вариант 2. Установка частотно-регулируемого привода на ПЭН производительностью 500 т/ч. Установка такого привода обеспечит: более высокий КПД, по сравнению с установкой гидромuffты, более широкий диапазон регулирования, меньшие пусковые токи, возможность использования ЧРП на группу насосов, а также обеспечивает отсутствие потери мощности на дросселирование, исключение гидравлических ударов и регулирование и поддержание параметров без участия запорной арматуры.

Вариант 3. Установка гидромuffты на питательный насос ПЭ-500-180. Гидромuffта помимо энергосбережения позволяет снизить нагрузки насоса, пропорционально уменьшая его производительность и продлевая срок его службы, а также позволяет уменьшить время пуска и повышает маневренность работы оборудования за счёт поглощения вибраций и ударов потоком масла в гидромuffте.

Для каждого из трех предложенных вариантов реконструкции были определены технико-экономические показатели работы группы насосов и рассчитаны показатели экономической эффективности. Наиболее оптимальным признан вариант 2. Дисконтированный срок окупаемости проекта по установке ЧРП составляет 2,3 года, что немного больше чем для варианта 3. Однако, вариант 2 обладает более высоким NPV проекта – 176 млн. руб.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА НА ЗАКАЧНЫХ МАЗУТОПРОВОДАХ

В настоящее время на ТЭС обогрев мазутопроводов производится подачей пара в трубопроводы – спутники, проложенные в одной тепловой изоляции с мазутопроводами. Но также имеется и альтернатива – электрообогрев трубопроводов.

Основная задача систем электрообогрева трубопроводов и резервуаров – обеспечить поддержание температуры продукта путем компенсации тепловых потерь от транспортируемого (хранимого) продукта во внешнюю среду.

На сегодняшний день наиболее распространены системы электрического обогрева трубопроводов на основе греющего кабеля, намотанного на трубу.

В зависимости от характеристик перекачиваемого продукта, условий эксплуатации и параметров трубопровода могут применяться: саморегулирующийся кабель и резистивный кабель.

Применяемые системы электрообогрева: система электрообогрева на основе саморегулирующейся ленты марки ВТХ; система электрообогрева на основе СКИН-Эффекта.

Преимущества электрообогрева: снижение расхода тепла на собственные нужды; возможность регулирования расхода энергии; снижение затрат на ежегодные текущие ремонты; создание возможности сохранения работоспособности мазутопроводов при аварийной остановке котельной в зимний период; исключение опасности размораживания пароспутников в зимний период при их отключении и ремонте.

Недостатки электрообогрева: высокая стоимость материалов и оборудования; отказы в зимние периоды с температурой наружного воздуха $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже.

Сравнение парового и электрического вариантов обогрева мазутопроводов показывает, что в большинстве случаев паровой способ обладает более низкой себестоимостью, а значит экономически более выгоден для применения на ТЭС. Исключением могут являться ТЭС, расположенные в регионах с низкой стоимостью электроэнергии. Также применение электрообогрева может быть более выигрышным при высокой себестоимости вырабатываемого пара, например, при сжигании угля или мазута на ТЭС в европейской части России.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ИЖЕВСКИХ ТЭЦ-1 И ТЭЦ-2

На Ижевской ТЭЦ-1 в эксплуатации находится блок ПГУ и «старая» неблочная часть, включающая в себя изношенные паровые котлы и турбины с давлением пара 35 кгс/см² и пиковую водогрейную котельную. В периоды покрытия пиковых тепловых нагрузок возникает необходимость включения в работу на неблочной части водогрейного котла, что сопровождается снижением расхода сетевой воды через теплофикационную установку ПГУ и приводит к уменьшению отпуска тепла от блока ПГУ, ухудшая технико-экономические показатели его работы.

Перечень мероприятий по реконструкции ТЭЦ-1:

1. строительство на территории станции водогрейной котельной в составе двух водогрейных котлов мощность по 120 Гкал/ч каждый;
2. вывод из эксплуатации НБЛЧ;
3. вывод из эксплуатации действующей ПВК;
4. перевод потребителей, расположенных в границах улиц Чугуевского, 40 лет ВКСМ, Вадима Сивкова, Карла Либкнехта, на теплоснабжение от котельной ОАО «ИМЗ» при температуре наружного воздуха ниже -20 оС.

Данные мероприятия позволят вывести из работы низкоэффективное оборудование неблочной части ТЭЦ-1 и исключить дефицит тепловой мощности в зимний период за счет использования котельной ОАО «ИМЗ» в качестве пикового источника теплоснабжения.

На крупнейшем источнике теплоснабжения в г. Ижевске (ТЭЦ-2) функционирует изношенное основное и вспомогательное оборудование. Предлагается перечень мероприятий по реконструкции ТЭЦ-2:

1. установка нового котлоагрегата типа Е-540-13,8-560ГМ взамен существующего ТП-87 ст. № 4,
2. установка новой турбины типа Тп-124,9-12,8 с турбогенератором взамен существующей Т-110/120-130 ст. №4
3. комплексная замена генератора типа ТВФ-120 ст. №4.

При реализации данного проекта улучшаться технико-экономические показатели ТА-4 и ПК-4, а именно: удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии составит 229,0 г/кВт*ч при фиксированном УРУТ на т/э 155 кг/Ткал.

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

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Согласно [1] предпочтительным развитием системы теплоснабжения от источников комбинированной выработки энергии является сохранение и загрузка существующих ТЭЦ. Но на практике, в результате влияния множества факторов, прослеживается тенденция отказа от крупных систем теплоснабжения, построенных на базе единственного источника тепловой энергии. Факторами, оказывающие влияние в пользу варианта отказа от источника централизованного теплоснабжения, представляющий собой ТЭЦ, являются:

- неэффективный комплекс устаревшего оборудования, требующий крупных вложений для его обновления и модернизации;
- высокая протяженность магистральных тепловых сетей, характеризующаяся высокими показателями тепловых потерь и низкой надежности теплоснабжения из-за отсутствия дублирующих тепломагистралей;
- большие капитальные вложения в ремонт тепловых сетей.

В данной работе авторами разработан проект децентрализации системы теплоснабжения Севастопольской ТЭЦ, реализация которого запланирована на 2023 г. Данный проект подразумевает техническое перевооружение одиннадцати центральных тепловых пунктов в блочно-модульные котельные с сохранением существующих квартальных тепловых сетей.

Таблица 1 - Сравнение рассчитанных показателей энергетической эффективности проектов по сохранению текущего состояния и децентрализации ТЭЦ

Показатели	Прогнозируемая величина показателя в 2024 г.		
	Сохранение текущего состояния	Децентрализация ТЭЦ	Изменение показателя
Отпуск в сеть, Гкал/год	156 509	120 032	-36 477,00
Потери тепловой энергии при передаче, Гкал/год	61 462	24 986	-36 476,00
Полезный отпуск, Гкал/год	95 046,50	95 046,50	0,00
УРУТ на отпуск тепла, кг у.т./Гкал	188,7	160,0	-28,70
Расход эл. эн. на передачу ТЭ и теплоносителя, тыс. кВт-ч	3 056,1	2 433,5	-622,60

Основными результатами реализации проекта будут являться повышение эффективности теплоснабжения, снижение затрат на производство тепловой энергии, повышение качества и надежности теплоснабжения.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении».

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

РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Приоритетами энергетической политики Российской Федерации, в том числе являются: переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике; рациональное природопользование и энергетическая эффективность. Задача экономии топлива тесно связана с проблемой защиты окружающей среды. В настоящее время и в обозримой перспективе решение проблемы охраны окружающей среды становится определяющим не только при сооружении крупных топливно-энергетических комплексов, но и при реконструкции, расширении, техническом перевооружении действующих котельных и ТЭС. Одним из наиболее сложных и актуальных направлений среди экологических проблем теплоэнергетики является сокращение выбросов оксидов азота котельными установками. С целью решения данных проблем, в данной работе авторами рассмотрен опыт использования конденсационных котлов в коммунальной отопительной котельной ООО «Нижегородтеплогаз»:

1. Наблюдается конденсационный режим в течение 3800 часов со средним КПД 103%, 1200 часов - работа без конденсации с КПД 98%. Выигрыш в КПД наблюдается не только в конденсационном режиме (+10%), но и в режиме без конденсации (+5%) (расчет и оценка КПД производились по низшей теплоте сгорания топлива).

2. Изменена стратегия загрузки. С последовательной загрузки на параллельную работу котлов по причине прослеживания наибольших значений КПД при наименьших нагрузках котла.

3. Высокие требования к качеству котловой воды, что влечет за собой рациональность использования двухконтурной зависимой схеме подключения, повышение качества водоподготовительных мероприятий, но также и повышение срока службы работы котельного оборудования.

4. Отказ от одноконтурной зависимой схемы подключения привел к усложнению тепловой схемы и усложнению её эксплуатации.

5. Сниженные выбросы и шум, низкая температура дымовых газов.

6. Необходимость нейтрализации и утилизации кислого конденсата.

Основными результатами внедрения конденсационных котлов в коммунальной отопительной котельной ООО «Нижегородтеплогаз» является повышение эффективности работы оборудования, снижение себестоимости производства тепловой энергии, а также снижение выбросов NOx.

*В.Р. Колесников, студ.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОМУФТЫ В ПРИВОДЕ ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА ЭНЕРГОБЛОКА С ТУРБИНОЙ К-210-130

Известно [1], что эффективным способом привода питательных насосов энергоблоков на давление свежего пара 12,8 МПа традиционно считается электропривод с гидромуфтой. Однако многие эксплуатируемые конденсационные энергоблоки номинальной электрической мощностью 200-215 МВт в настоящее время работают без гидромуфт. Задачей настоящей работы является оценка эффективности применения гидромуфты в приводе питательных насосов ПЭ-380-185 и ПЭ-380-200 энергоблока с турбиной К-210-130.

Для оценки эффективности использован алгоритм, изложенный в [1]. Последовательно решаются задачи: 1) определение по экспериментальным данным гидравлической характеристики сети от питательных насосов до сниженного узла питания котла; 2) пересчет напорной и мощностной рабочих характеристик насосов к условиям работы с переменным числом оборотов ротора по известным моделям; 3) анализ фактических суточных графиков электрической нагрузки энергоблока для построения среднегодового суточного графика; 4) расчет суточной экономии электроэнергии на привод питательных насосов при использовании гидромуфт с учетом графика электрической нагрузки и соответствующего ему графика расхода питательной воды; 5) определение суточной и годовой экономии топлива по энергоблоку при использовании гидромуфт в приводе питательных насосов; 6) расчет показателей экономической эффективности рассматриваемого мероприятия.

По результатам расчетов выявлено, что для рассматриваемого энергоблока применение гидромуфт на питательных насосах обеспечивает годовую экономию топлива на уровне 0,34 % от фактически сжигаемого количества топлива. При этом дисконтированный срок окупаемости инвестиций превышает 10 лет, что не позволяет сделать вывод об эффективности рассматриваемого мероприятия.

Библиографический список

1. **Анализ эффективности** регулирования питательных насосов изменением частоты вращения ротора для электростанций различного типа / Ледуховский Г.В., Горшенин С.Д., Зиновьева Е.В., Зиновьева А.С. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2021. № 4. С. 5-14. DOI: 10.17588/2072-2672.2021.4.005-014

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

УСТАНОВКА ТУРБОДЕТАНДЕРА НА ГРП ОРСКОЙ ТЭЦ-1

Одним из основных энергосберегающих мероприятий в области топливopодачи является использование энергии избыточного давления природного газа при его распределении на газораспределительных пунктах (ГРП).

Детандер - генераторный агрегат представляет собой устройство, в котором энергия потока транспортируемого природного газа преобразуется сначала в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую энергию в генераторе. Применение на рассматриваемой турбодетандерной установки для выработки электроэнергии на собственные нужды станции является одним из возможных путей сокращения затрат на ресурсоснабжение станции, что в итоге приведёт к повышению энергоэффективности теплоэлектроцентрали.

Предлагается следующая схема установки. Природный газ по магистральному газопроводу с давлением 1-1,2 МПа поступает на ГРП. Пройдя очистку от механических примесей в пылеуловителях, газ поступает в подогреватель газа, где за счет тепла пара из теплофикационного отбора, нагревается до температуры 100 оС, затем, через дополнительные фильтры и блок клапанов, поступает в турбодетандеры, где расширяется до давления 0,1 МПа с выработкой электроэнергии генератором, сочлененным с турбиной. В случае аварийной остановки турбины турбодетандерной установки проектом должна быть предусмотрена подача газа через ГРП, минуя турбодетандер.

В настоящее время на ГРП снижение давления газа производится редуцированием по двухступенчатой схеме с давления 1,2 МПа до рабочего давления 0,08 МПа и поддержания его в пределах 10 %.

В соответствии с газодинамическими данными на ГРП Орской ТЭЦ-1 филиал «Оренбургский» ПАО «Т Плюс» целесообразно сооружение энергосберегающего турбодетандера разработки ООО «ТурбоДЭн», номинальной мощностью 2500 кВт - ЭТДА-2500. В результате разработки мероприятия были рассчитаны технико-экономические показатели проекта.

Выработка электроэнергии турбодетандером составит до 13202 МВт*ч в год. Срок окупаемости мероприятия составит 10 лет.

Использование турбодетандерной установки на ГРП станции позволит получать дешёвую электроэнергию, которую выгодно использовать на собственные нужды станции.

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

РАЗВИТИЕ ГИБРИДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В настоящее время перед мировым сообществом остро встает проблема энергосбережения, ввиду значительного уменьшения запасов энергетических ресурсов. Исследование доступной и экологически чистой энергии, получаемой с помощью нетрадиционных возобновляемых источников, является на сегодняшний день приоритетной задачей во всем мире. Для многих стран нетрадиционная энергетика с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) является важнейшим компонентом в энергообеспечении и сохранении природных энергоресурсов.

Одним из эффективных способов перехода от традиционной энергетики к энергетике с высокой долей ВИЭ являются промышленные гибридные системы генерации, основанные на использовании преимуществ традиционных и альтернативных источников энергии. В этом случае объекты традиционной генерации интегрируются с ВИЭ, устанавливаемыми в непосредственной близости от них.

Примером гибридной генерации может служить гибридизация солнечной и гидрогенерации. Преимуществом такой генерации является модульность солнечной генерации. А значит подбор мест для установки ее элементов может быть весьма разнообразен. Так на ГЭС местами для установки солнечных модулей могут быть свободные площади пристанционных участков, кровли административных зданий, береговые откосы, низовые откосы гравитационных плотин и площади водохранилищ [1,2].

Гибридные станции такого типа уже работают в Японии, Китае, Европе. Первым опытом такой генерации в России является запуск на Нижне-Бурейской ГЭС мощностью 320 МВт в 2019 году, стационарной СЭС мощностью 1,2 МВт, а в 2020 году плавучей СЭС на 54 кВт. Обе СЭС вырабатывают электроэнергию для покрытия собственных нужд ГЭС [3].

Библиографический список

1. **Брызгалов В.И.** Гидроэлектростанции: Учеб. Пособие / В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон.- Красноярск:ИПЦ КГТУ, 2002.-541 с
2. **Солнечная энергетика:** учебное пособие для вузов /под ред. Виссарионова В. И.- М.: изд. дом МЭИ, 2008.-276 с
3. **Коршунов Я.** Солнце светит для ГЭС [Электронный ресурс] /Я. Коршунов//Вестник РусГидро.-2020.-№ 8 URL: <https://vestnik-rushydro.ru/articles/8-avgust-2020/tema-nomera/solntse-svetit-dlya-ges/> (дата обращения: 24.01.2022).

*И.А. Кулаков, студ.; рук. М.Ю. Зорин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЭЦ ЗА СЧЁТ ИСКЛЮЧЕНИЯ ПОТЕРЬ ТЕПЛА В КОНДЕНСАТОРЕ

В теплофикационных турбинах с регулируемым отбором пара на режимах работы с тепловой нагрузкой имеется пропуск пара в конденсатор, служащий для охлаждения ступеней ЧНД. Минимальная величина этого пропуска определяется конструкцией турбины и режимом ее работы. Как следствие, возникают потери теплоты в конденсаторе (тепло пара отдается циркуляционной воде и не используется в цикле электростанции) соизмеримые с теплом минимального пропуска пара в конденсатор, так как рециркуляция, необходимая при малых расходах пара в ЧНД, в теплофикационных турбинах включается на режимах, близких к номинальному. Эти потери приводят к снижению тепловой экономичности турбин с регулируемым отбором пара.

Одним из распространенных решений является выполнение конденсатора «со встроенным пучком», позволяющее исключить перевод на ухудшенный вакуум или замену ротора НД перед отопительным сезоном.

К основному пучку труб конденсатора предусматривается подвод циркуляционной воды, а к встроенному пучку – циркуляционной и обратной сетевой воды. На режиме с конденсационной выработкой электроэнергии в основной и встроенный пучки конденсатора поступает только циркуляционная вода. При работе на теплофикационном режиме с ограниченным пропуском пара в конденсатор отключается подвод циркуляционной воды к основному пучку. Встроенный пучок охлаждается обратной сетевой водой. Переход с одного на другой режим производится на ходу, без останова турбины.

Исключение потерь тепла в конденсаторе позволяет повысить максимальную тепловую нагрузку ТЭЦ менее чем на 3-4%, что не может влиять на количество потребителей. Соответственно, целью является экономия топлива при неизменных величинах выработки электроэнергии и отпуска тепла от ТЭЦ.

Расчетная величина экономии топлива при охлаждении конденсатора обратной сетевой водой для турбин Т-100/120-130 составляет примерно 0,4% суммарного годового расхода топлива на турбоустановку, в том числе около 0,2% за счет снижения расхода электроэнергии на собственные нужды.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ САКМАРСКОЙ ТЭЦ

Основным источником централизованного теплоснабжения в г. Оренбург является Сакмарская ТЭЦ. Установленная тепловая мощность ТЭЦ составляет 1576 Гкал/ч, резерв тепловой мощности – 258 Гкал/ч. С целью увеличения нагрузки теплофикационных отборов Сакмарской ТЭЦ и повышения технико-экономических показателей работы станции рассмотрены 4 варианта развития системы теплоснабжения ТЭЦ, предполагающие переключение тепловых нагрузок потребителей котельных на ТЭЦ.

Таблица 1 - Описание вариантов оптимизации системы теплоснабжения СТЭЦ

п/п	Описание мероприятий	Номер варианта			
		1	2	3	4
1	Переключение на Сакмарскую ТЭЦ тепловых нагрузок перспективных площадок нового строительства, попадающих в зону действия ТЭЦ	+	+	+	+
2	Переключение на СТЭЦ тепловых нагрузок отопительного периода 5 котельных («ОХПП», «Туркестанская», «Уральская», «Чкалова», «Форштадт»).		+	+	+
3	Переключение на СТЭЦ тепловых нагрузок неотопительного периода Оренбургской котельной		+	+	+
4	Переключение на СТЭЦ тепловых нагрузок котельной АО «ПО «Стрела»			+	+
5	Переключение на Сакмарскую ТЭЦ тепловых нагрузок 15 котельных (Пединститут, 4 квартал, 7 квартал, 8 квартал, 9 квартал, 11 квартал, ППТУ-10, Школа милиции, 67 городок, Набережная, ОГАУ, Кадетский корпус, СОК, Харьковская, Лесозащитная) с выводом их из эксплуатации				+
6	Увеличение нагрузки ТЭЦ за счет переключения потребителей котельных	0	48,4	132,1	285,1

По итогам расчета показателей эффективности предложенных вариантов в качестве наилучшего выбран вариант № 3.

Таблица 2 - Сравнение экономических показателей вариантов развития

п/п	Наименование показателя	Величина показателя за период			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
	Инвестиции, тыс. руб.	-	381 855,46	592 353,74	3 649 644,52
	NPV проекта, тыс. руб.	69 339	294 776	356 672	-872 587,00
	IRR, %	не вычисл.	43,16%	40,13%	8,89%
	Срок окупаемости, лет	не вычисл.	3,79	4,43	10,10
	Дисконтированный срок окупаемости, лет	не вычисл.	4,48	5,15	Более 12

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

ПРОБЛЕМА ОТРАБОТАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ. УТИЛИЗАЦИЯ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

На сегодняшний день процесс декарбонизации энергетики является закономерной реакцией отрасли на изменение климата, вызванного выбросами в атмосферу парниковых газов. Одним из результатов этого перехода уже является увеличение доли возобновляемых источников энергии в энергетической отрасли.

Ветроэнергетика, на текущий момент, является одним из основных источников возобновляемой энергии.

Традиционно считается, что альтернативная энергетика в будущем позволит производить электроэнергию без каких-либо воздействий на окружающую среду, однако, такое мнение не совсем верно.

За последние пять лет число выводимых из эксплуатации первых ветроэнергетических установок (ВЭУ) значительно возросло, по причине истечения двадцатипятилетнего срока службы. В связи с этим в ряде стран Европы остро встал вопрос утилизации ветроустановок.

При выводе ВЭУ из эксплуатации около 85 процентов компонентов ветряной турбины могут быть переработаны или использованы вновь. Проблема возникает при утилизации лопастей, выполненных из высокопрочных композитных материалов, ввиду сложности процесса их утилизации [1].

Идея организации полигонов по утилизации лопастей не увенчалась успехом, так как уже сейчас в Европе выводятся из эксплуатации тысячи лопастей ВЭУ, которые за считанные месяцы заполняют отведенный участок.

В настоящее время предлагается два главных метода утилизации: механическая (механическое измельчение с дальнейшим использованием в различных производствах) и термическая (сжигание и пиролиз) переработка [1].

Все предложенные методы имеют ряд недостатков, что не позволяет заявить о решении проблемы переработки лопастей в полной мере.

Библиографический список

1. **Официальный сайт** Всероссийской ассоциации ветроиндустрии URL: <https://rawi.ru/2020/03/plan-pererabotki-lopastey-veu-kotoryiy-izbavit-ot-nih-poligonyi-dlya-othodov/>

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

ЭНЕРГОБЛОК ТЭС БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ. ИНТЕРАКТИВНОЕ УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Доля выработки электрической энергии тепловыми электрическими станциями (ТЭС) на органическом топливе в общей выработки электрогенерации Российской Федерации составляет более 60%, а примерно половину этой мощности обеспечивают блочные конденсационные станции - ГРЭС, имеющие в своем составе энергоблоки большой мощности на сверхкритические параметры пара. Изучению этого оборудования посвящено большое количество разделов профессиональных дисциплин по направлению подготовки 13.03.01 и 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника с направленностью Тепловые электрические станции.

Несмотря на достаточно большое количество различных источников, в том числе литературы с описанием конструкций основного оборудования и принципа работы ТЭС, найти исчерпывающую информацию в полном объеме весьма сложно не только студентам, но и специалистам, работающим на ТЭС. За долгие годы эксплуатации многие чертежи и технологические схемы на бумажных носителях сильно износились и плохо читаются. Поэтому задача восстановления и сохранения в электронном виде чертежей и схем оборудования весьма актуальна в наши дни.

Разработанное интерактивное учебное пособие содержит основные технологические схемы энергоблока, турбоустановки и ее основных систем. Более пятидесяти чертежей основного и вспомогательного оборудования. Все разрезы на чертежах выполнены в цвете с обозначением отдельных деталей, с описанием конструкции и техническими характеристиками. Для основного технологического оборудования возможно подключение видеофайлов иллюстрирующих работу оборудования. Кроме того возможно подключение математического аппарата для выполнения тепловых, прочностных и прочих расчетов. По окончании изучения каждого раздела предлагается список контрольных вопросов и предусмотрен автоматизированный контроль знаний.

Материал предполагается использовать на практических занятиях в специально оборудованной лаборатории кафедры ТЭС, а также при самостоятельной подготовке обучающихся по соответствующим дисциплинам и направлен на формирование у обучающихся профессиональных компетенций в сфере их будущей профессиональной деятельности.

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

РЕКОНСТРУКЦИЯ УПЛОТНЕНИЙ РВП С УСТАНОВКОЙ ГРАФИТОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ

Сверхнормативный присос воздуха в регенеративных воздухоподогревателях существенно влияет на подогрев воздуха и температуру уходящих газов, так же, при сверхнормативных присосах воздуха возрастают расходы воздуха и газа соответственно увеличивается потребление электроэнергии. Присос воздуха в регенеративных воздухоподогревателях снижает КПД всего парового котла. Целью реконструкции РВП является сокращение потребления электроэнергии на тягодутьевые механизмы путем сокращения перетоков воздуха в дымовые газы в регенеративном воздухоподогревателе. Для достижения поставленных задач рассматривается комбинация из нескольких мероприятий.

1. Установка колодочных уплотнений с графитовыми колодками. Колодки устанавливаются по всему периметру напротив торцов фланцев ротора. Для этого ротор будет оснащен дополнительными фланцами. Конструкция уплотнений и свойства применяемого графита позволяет обеспечить необходимое прилегание колодок к фланцам ротора при различных нагрузках котлоагрегата.

2. Внедрение дополнительного окружного уплотнения. Перепад давлений на окружных уплотнениях ротора может быть уменьшен при использовании двухступенчатых окружных уплотнений. Колодочное уплотнение является основным. Дополнительное окружное уплотнение размещается в межкорпусном пространстве воздухоподогревателя и выполнено из прижимных и уплотнительных пластин, из коррозионно-стойкой стали.

3. Внедрение плит радиального уплотнения с рычажно-механической системой. Для уменьшения и стабилизации величины зазоров в радиально уплотнении на всех режимах парогенератора предлагается оснастить воздухоподогревателя плитами радиальных уплотнений с рычажно-механической системой. Радиальные плиты при помощи тяг подвешиваются к крышкам РВП и масса их уравновешивается противовесами, в результате чего плиты как бы находятся в невесомости и при малейшем на них воздействии ротора они начинают перемещаться. Верхняя радиальная плита через кинематическую цепь рычажной системы соединена с нижней плитой.

Ожидаемый эффект от внедрения предложенных мероприятий выражается в доведения присосов воздуха в газы до 10% при нормативном значении 25 %.

*П.Д. Романин, студ.; рук. Ю.Е. Барочкин, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРЕВОД НА РАБОТУ С РОТОРОМ-ПРОСТАВКОЙ ЦНД ТУРБИНЫ Т-110-130

При работе турбин по тепловому графику наблюдаются потери мощности на трение и вентиляцию в ступенях ЦНД, а при охлаждении конденсатора циркуляционной водой — потери тепла вентиляционно-го расхода пара.

Повышение эффективности турбин на теплофикационных режимах может быть достигнуто путем замены штатного ротора низкого давления (НД) на специально изготовленный ротор-проставку, отличающийся отсутствием рабочих лопаток и пазов в дисках для их установки. В качестве ротора-проставки может быть также применен ротор НД со срезанными или удаленными рабочими лопатками. При охлаждении конденсатора циркуляционной водой ресиверные трубы в ЦНД демонтируются, устанавливаются заглушки на выходе из ЦСД и на входе в ЦНД, в результате чего прекращается доступ пара в ЦНД, т. е. осуществляется перевод турбины на режим противодавления. Диафрагмы в ЦНД остаются, что при необходимости упрощает переход с ротора-проставки на облопаченный ротор.

На электростанциях, где такой переход требуется осуществлять многократно, замена ротора-проставки на штатный ротор и обратно может производиться в самые кратчайшие сроки благодаря использованию полумуфт новой конструкции для сочленения роторов, позволяющих обходиться без проведения предварительных райберовок отверстий в полумуфтах.

Переход на эксплуатацию турбины Т-110-130 с ротором-проставкой ЦНД при охлаждении конденсатора сетевой водой позволяет получить экономию топлива до 1500 т у. т./год. Эффективность перевода турбины Т-110-130 на работу с ротором-проставкой ЦНД при охлаждении конденсатора циркуляционной водой и прекращении доступа пара в ЦНД составляет 3640 т у. т./год.

Накоплен значительный опыт эксплуатации с ротором-проставкой ЦНД одной из турбин Т-100 на Ново-Свердловской ТЭЦ, Казанской ТЭЦ-3 и Набережночелнинской ТЭЦ. При переводе турбоустановки на работу с ротором-проставкой ЦНД ее тепловая схема не меняется. Пуск турбины осуществляется с включенным в работу ПСГ-1.

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

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ГРАДИРНИ № 7 ОРСКОЙ ТЭЦ-1

В настоящее время на градирне Орской ТЭЦ-1 № 7 отсутствует каплеуловитель. Это важный элемент градирни, так как унос капель воды при его отсутствии может доходить до 1% - 4% от объема поступающей в градирню воды. При отсутствии каплеуловителя воздух выходит из градирни вместе с капельной влагой, увеличивая подпитку циркуляционного контура станции. Поэтому целью реконструкции является экономия воды в системе оборотного водоснабжения, снижение затрат на эксплуатации градирни за счет сокращения покупной технической воды. В качестве предлагаемого каплеуловителя отвечающего требованиям, предъявляемым к оборудованию градирен, рассматривался каплеуловитель «Полуволна» компании «Агростройсервис».

Каплеуловитель изготовлен по ТУ 2291-023-47539491-2001 и представляет собой блок, состоящий из полиэтиленовых профилей, имеющих в поперечном сечении вид полуволны.

Преимущества установки:

- упрощён процесс сборки и монтажа деталей;
- пластины изготовлены методом литья из полиэтилена низкого давления, что придает блоку необходимую жесткость;
- материал устойчив к резким перепадам температур (от -50 до +60°C);
- материал устойчив к ультрафиолетовому излучению, действию воды, кислот, щелочей и органических растворителей, не подвержен биологическому обрастанию;
- не оказывает вредного воздействия на организм человека;
- эффективность каплеулавливания составляет 99,99%;
- не поддерживает горение, не пожароопасен;
- блоки могут изготавливаться любой длины;
- срок эксплуатации – 25 лет

Установка на градирне № 7 Орской ТЭЦ-1 системы каплеулавливания позволит осуществлять значительную экономию циркуляционной воды, что в конечном итоге приведёт к повышению энергоэффективности теплоэлектростанции.

Данное мероприятие является малозатратным и имеет малый срок окупаемости.

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

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОАГРЕГАТА К-210-130 НА ОСНОВЕ ТИПОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Энергетические характеристики турбоагрегатов входят в состав нормативно-технической документации по топливоиспользованию (НТД ТИ) ТЭС. На основе НТД ТИ проводится текущий контроль показателей тепловой экономичности оборудования с выявлением причин появления перерасходов либо экономии топлива [1].

Энергетические характеристики турбоагрегатов, котлов могут разрабатываться на основе результатов тепловых испытаний оборудования либо на основе типовых энергетических характеристик. В последнем случае основные трудности представляет расчет поправок, учитывающих отличие тепловой схемы и условий работы конкретного турбоагрегата от соответствующих условий построения типовой энергетической характеристики. В рамках настоящей работы такая задача решается применительно к турбоагрегату К-210-130.

В расчетах учтен регламент перехода по питательным насосам энергоблока, включение впрысков для регулирования температуры перегретого пара, переключение деаэратора питательной воды с третьего на второй нерегулируемый отбор турбины при уменьшении электрической мощности и ряд других технологических особенностей.

В результате получены зависимости основных показателей тепловой экономичности турбоагрегата от электрической мощности в регулировочном диапазоне её изменения: расходов свежего пара, пара в промежуточный пароперегреватель и пара в конденсатор, температуры питательной воды за группой подогревателей высокого давления, полного и удельного расхода тепла брутто на выработку электроэнергии.

Сопоставление результатов расчета с фактическими показателями работы турбоагрегата выявило их приемлемую сходимость. Алгоритм расчета автоматизирован, что позволяет использовать его и для других подобных энергоблоков, изменяя соответствующие исходные данные.

Библиографический список

1. **Ледуховский Г.В.**, Поспелов А.А. Расчет и нормирование показателей тепловой экономичности оборудования ТЭС: Практ. пособие. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский гос. энергетич. ун-т им. В.И. Ленина», 2015. – 468 с.

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

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЛОТКОВЫХ МЕЛЬНИЦ

Нормативный метод расчета пылеприготовительных установок [1] связывает в виде регрессионного уравнения максимальную производительность установки с ее конструктивными и режимными параметрами и прочностными свойствами измельчаемого материала. При принимается, что пылеприготовительная установка включает в себя мельницу и устанавливаемый над мельницей сепаратор пыли. Так как мельницы могут оснащаться центробежными, инерционными и шахтными (гравитационными) сепараторами, то для каждого типа сепаратора приводится своя регрессионная зависимость. Такой подход не позволяет провести оценку эффективности применения новых сепараторов пыли, конструкция которых отличается от рассматриваемых в нормативных материалах.

Для снятия этого ограничения предлагается методика расчета, в которой пылеприготовительная установка рассматривается в виде отдельных объектов, состоящих из молотковой мельницы и основного сепаратора пыли, при этом молотковая представлена как комбинация области измельчения (размольное пространство) и области классификации (сепарационное пространство внутри корпуса мельницы). Для описания процесса измельчения используются уравнения кинетики измельчения с селективной и распределительной функциями. Процесс классификации описывается с помощью двухпараметрической кривой разделения.

Непрерывный процесс измельчения заменяется дискретным нагружением, при котором происходит несколько циклов хрупкого разрушения частиц с линейным видом распределительной функции. Значение селективной функции принимается пропорциональным размеру частиц. Для аппроксимации кривой разделения используется формула Тромпа.

Параметрами идентификации математической модели измельчения являются эквивалентное число нагружений частиц и предельный размер частиц, с которого начинает уменьшаться значение селективной функции. Параметрами идентификации моделей классификации являются граничный размер разделения и эффективность разделения.

Библиографический список

1. **Расчет и проектирование** пылеприготовительных установок котельных агрегатов (Нормативные материалы). – Л.: ЦКТИ-ВТИ, 1971. – 310 с.

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ ГТУ

В последние годы отмечается интерес к возможности применения в КВОУ систем охлаждения, позволяющих снижать температуру силового воздуха перед осевым компрессором ГТУ в жаркое время и тем самым сокращать недовыработку электроэнергии блоком ПГУ в критические летние режимы работы. Для охлаждения воздуха перед ГТУ в летнее время можно использовать установленные в КВОУ теплообменники, предназначенные для работы в зимний период в целях исключения обледенения воздушных фильтров. Возможен вариант, связанный с модернизацией КВОУ путем интеграции в его конструкцию блока охлаждения воздуха. Основных вариантов охлаждения воздуха на входе в компрессор ГТУ два: охлаждение воздуха хладагентом на входе в компрессор через теплообменник и распыление и испарение воды на входе в компрессор (испарительный вариант охлаждения). В настоящее время для охлаждения воздуха широко применяются абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ). Основные преимущества АБХМ: минимальное потребление электрической энергии (она необходима только для работы насосов и автоматики), так как энергетическим ресурсом для их работы служит тепловая энергия (пар с котла или турбины, уходящие газы, горячая вода); экологическая безопасность (хладагентом является обычная вода).

Проанализированы системы охлаждения воздуха для ПГУ разной мощности с отечественным и зарубежным оборудованием: ПГУ-230 с ГТЭ-160 (Владимирская ТЭЦ-2). АБХМ BDS500XII (Китай): холодопроизводительность 5815 кВт; расход охлаждающей воды 1000 м³/ч; электрическая мощность 16,4 кВт. Основным источником тепла выбран пар с ЦНД турбины, перспективным природный газ.

ПГУ-325 с ГТЭ-110 (Ивановские ПГУ). АБХМ-2000В-10 (ООО «ОКБ Теплосибмаш», г. Новосибирск): холодопроизводительность 2200 кВт; расход охлаждающей воды 564 м³/ч; электрическая мощность 6,1 кВт. Основным источником тепла были выбраны пар турбины и горячая вода водо-водяного теплообменника.

ПГУ-450 с ГТЭ-160 (ТЭЦ-27 Мосэнерго). АБХМ Thermax 2В-8К-С: холодопроизводительность 5081 кВт; расход охлаждающей воды 1445 м³/ч. Основным источником тепла были выбраны газы после котла утилизатора, резервным источником, пар уравнивательной линии деаэраторов.

*Н.В. Соболев, студ.; рук. М.Ю. Зорин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГТЭ-160 В ПГУ УТИЛИЗАЦИОННОГО ТИПА

Газотурбинная установка в ПГУ утилизационного типа является активным элементом, определяющим режим работы котлов-утилизаторов (КУ) и паровой турбины (ПТ). При изменении режима ГТУ, то есть при изменении расхода газов и их температуры, устанавливается новый режим работы КУ и ПТ, и последняя вырабатывает соответствующую мощность (электрическую или тепловую).

Использование парогазовых установок является одним из возможных и перспективных направлений снижения топливно – энергетических затрат.

Важной особенностью газовых турбин и, соответственно, ПГУ в целом, является достаточно крутая зависимость их экономичности от температуры газов на входе в турбину. Это определяет необходимость строгого поддержания номинальной температуры газов.

ГТЭ-160 относятся к первому поколению высокотемпературных ГТУ, пригодных для использования в составе утилизационных ПГУ.

ГТЭ-160 предназначена для привода электрического генератора с частотой вращения 3000 об/мин при эксплуатации в пиковом или базовом режимах использования, как в составе парогазовой установки (ПГУ), так и автономно.

После ряда усовершенствований ГТЭ-160 будет представлять собой современную ГТУ, позволяющую построить ПГУ с КПД 50-52 %. Как уже неоднократно отмечалось, это даст экономию топлива в 25-30 %, и ПГУ с ГТЭ-160. Также для ГТУ типа ГТЭ-160 температура пара высокого давления в паропроводах за котлами-утилизаторами может достигать 500 °С.

Характерными особенностями ГТЭ-160 являются:

- шестнадцатиступенчатый осевой компрессор;
- четырехступенчатая турбина;
- выносная камера сгорания.

Дополнительно в пользу целесообразности строительства ПГУ с ГТЭ-160 можно указать на то, что еще долгое время Россия будет страной с относительно дешевым природным газом. Поэтому даже при таком КПД (50-52 %), относительно невысоком для современных ПГУ, рентабельность таких ПГУ для энергетики России несомненна.

В настоящее время данная схема ПГУ реализована на Ижевской ТЭЦ-1, Калининградской ТЭЦ-2, Челябинской ТЭЦ-3.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЫЗРАНСКОЙ ТЭЦ

Целью работы является повышению эффективности работы Сызранской ТЭЦ путем установки одной или двух приводных турбин к питательным насосам группы оборудования 130 кгс/см², в составе которой входят 4 насоса типа ПЭ-580-195. Применительно к условиям Сызранской ТЭЦ для реализации данного мероприятия необходимо:

- смонтировать теплофикационную установку, состоящую из двух подогревателей ПСВ-500-3-23;
- смонтировать коллектор пара давлением 1,2 кгс/см² для обеспечения подачи пара с выхлопа приводных турбин питательных насосов в сетевые подогреватели ПСВ-500-3-23;
- смонтировать противодавленческие приводные турбины к одному или двум питательным насосам ПЭ-580-195, питающиеся паром из коллектора давлением 8-13(18) кгс/см² со сбросом отработавшего пара в смонтированный коллектор пара давлением 1,2 кгс/см².

Для определения ТЭП работы ТЭЦ при реализации мероприятий разработаны диаграммы режимов питательной установки.

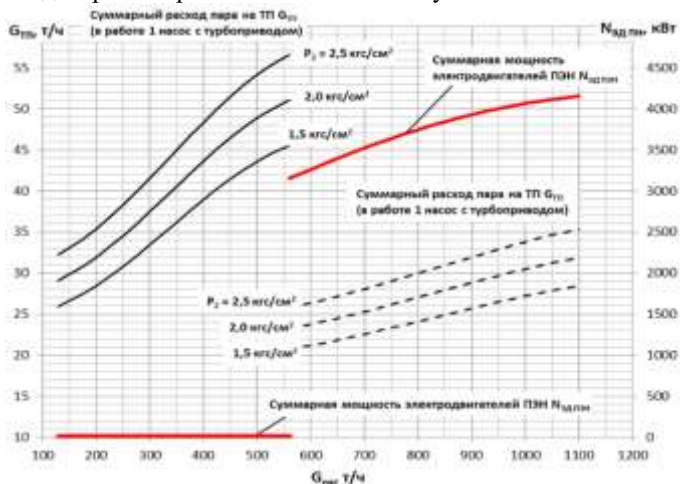


Рисунок. 1 - Диаграмма режимов питательной установки Сызранской ТЭЦ (турбоприводом оборудован один насос)

Годовая экономия топлива при установке одного трубопровода составит 3 056 т у.т.; при установке двух трубопроводов 1 831 т у.т.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ПНД-2 ТУРБОУСТАНОВКИ К-215-130 НА СМЕШИВАЮЩИЙ

В трактах основного конденсата турбоустановок К-215-130 ст. №9 Верхнетагильской ГРЭС в качестве подогревателей низкого давления используются подогреватели поверхностного типа: двухсекционный встроенный в конденсатор ПНД-1 и ПНД-2, 3, 4 типа ПН-300.

Недостатком поверхностных подогревателей является наличие недогрева основного конденсата до температуры насыщения, незащищенность теплообменников от коррозии при повышенных концентрациях O_2 , CO_2 в питательной воде и конденсате греющего пара. Система регенерации низкого давления с поверхностными подогревателями является источником загрязнения питательного тракта оксидами железа и меди, особенно в подогревателях с трубками из латуни. Необходимо отметить, что ПНД-1 и 2 работают при давлении пара ниже атмосферного. Это приводит к повышенным недогревам из-за присутствия в паре воздуха, поступающего в неплотности всей вакуумной зоны отборов к П-1 и П-2, а также из-за увеличения парового сопротивления трубных пучков подогревателей.

Для решения проблем эксплуатации регенеративной системы низкого давления предлагается комбинированная система регенерации [1], в которой ПНД-2 заменяется на смешивающий, а теплообменники с избыточным давлением пара остаются поверхностными. Ожидаемыми эффектами от реконструкции тракта основного конденсата турбоустановки являются следующие:

- удаление из основного конденсата свободной углекислоты и кислорода за счет эффекта термической десорбции в смешивающих подогревателях;
- сокращение загрязнения трактов основного конденсата и питательной воды оксидами железа и меди за счет отсутствия трубной системы у ПНД-2;
- увеличение термического КПД цикла Ренкина за счет отсутствия недогрева у ПНД-2 0,068 [2].

Библиографический список

1. **Тепловая эффективность** замены поверхностного ПНД2 на смешивающий / А.В. Мошкарин, А.Я. Копсов, В.В. Великороссов и др. /Труды ИГЭУ, вып.3. - Иваново, 1999. - С. 30-32.
2. **Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И.** Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС М.: Энергоиздат, 1982.

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

ПОДОГРЕВ СЫРОЙ ВОДЫ НА ТЭЦ ЗА СЧЕТ ТЕПЛА ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ

В настоящее время на большинстве ТЭС подогрев сырой воды на нужды ХВО до 30°C осуществляется паром с давлением 1,2 атм из коллектора собственных нужд станции. В целях экономии тепловой энергии на собственные нужды предлагается мероприятие по изменению схемы подогрева сырой воды, поступающей на ХВО с использованием тепла обратной сетевой воды.

Для внедрения предлагаемого мероприятия необходимо:

установить теплообменник «вода-вода».

осуществить монтаж трубопроводов с отводом части потока обратной сетевой воды на подогреватель исходной воды.

подключить трубопроводы исходной воды к теплообменнику.

В качестве теплообменника «вода-вода» предлагается установить пластинчатый разборный теплообменник.

Преимущества выбранного варианта:

1. Экономичность и простота обслуживания.
 2. Низкая загрязняемость поверхности теплообмена вследствие высокой турбулентности потока жидкости, образуемой рифлением, а также качественной полировки теплообменных пластин.
 3. Срок эксплуатации уплотнительной прокладки достигает 10 лет. Срок работы теплообменных пластин - 20-25 лет. Стоимость замены уплотнений колеблется в пределах 15-25% от стоимости пластинчатого теплообменника.
 4. Стоимость монтажа пластинчатого теплообменника составляет 2 - 4% от стоимости оборудования, что на порядок ниже, чем у кожухотрубного теплообменника.
 5. Изменяемость под задачи: в случае необходимости площадь поверхности теплообмена в пластинчатом теплообменнике может быть легко уменьшена или увеличена простым извлечением или добавлением пластин.
 6. Устойчивость к наведенной двухплоскостной вибрации.
 7. Меньшие последствия при гидроударах.
- Реализация мероприятия является мало затратной и имеет малый срок окупаемости.

*М.И. Шматалюк, студ.; рук. М.Ю. Зорин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ

Трубчатые теплообменники это самая распространенная конструкция теплообменной аппаратуры, основным преимуществом которых является простота конструкции, а следовательно и их меньшая стоимость. Но так же имеются и существенные недостатки, такие как затрудненное очищение межтрубного пространства и существенное различие между температурами трубок и кожуха, которое приводит к удлинению трубок и возникновению температурных напряжений.

В качестве решения проблем эксплуатации трубчатых теплообменников предлагается применять пластинчатые теплообменники. Пластинчатый теплообменник это подогреватель поверхностного типа, смешение рабочих сред в котором исключено. Теплопередающая поверхность пластинчатого теплообменника состоит из набора тонких гофрированных металлических пластин, образующие каналы для пропуска теплоносителей. Каналы уплотняются термостойкими, кислородостойкими и радиационностойкими резиновыми прокладками. Пластины, собранные в пакет, закрепляют между опорной и прижимной плитами. Плиты стягивают болтами. Количество, а так же конфигурация самих пластин определяются требованиями необходимого теплообмена и оптимальных условий гидравлики. Гофрирование позволяет увеличить коэффициент теплопередачи за счет турбулизации рабочей среды, а так же жесткость всей конструкции.

Если сравнивать пластинчатый и трубчатый теплообменники, то можно увидеть, что выгоднее использовать пластинчатый теплообменник, так как он на фоне трубчатого теплообменника достаточно компактный, легкий, легок в эксплуатации и эффективнее, с точки зрения использования его в работе. Единственное в чем проигрывает пластинчатый теплообменник это его стоимость.

Сделав теплогидравлический расчет пластинчатого теплообменника можно сделать вывод, что он достаточно универсален в работе, есть возможность менять площадь поверхности теплообмена, изменяя число пластин. Такой теплообменник способен работать даже после замерзания в нем воды, и последующей ее оттайки, работать даже без фактических повреждений так же, как и при высокой вибрации.

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

ПРОЕКТ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ Г. ОРСКА

Основным источником централизованного теплоснабжения в г. Орск является Орская ТЭЦ-1. При этом теплоснабжение потребителей на левом берегу города организовано от низкоэффективных водогрейные котельных, ввиду отсутствия тепловых сетей ТЭЦ.

Для увеличения тепловой нагрузки Орской ТЭЦ-1 за счет переключения тепловой нагрузки потребителей левобережья г. Орска разработан проект строительства магистральных тепловых сетей. Данное мероприятие позволит повысить загрузку теплофикационных отборов турбоагрегатов ТЭЦ, что повысит эффективность производства тепловой и электрической энергии и приведет к сокращению затрат топлива.

Схемы новых тепловых сетей приняты циркуляционными, двухтрубными, транспортирующие тепло одновременно на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. При строительстве тепловых сетей в зонах жилой застройки предлагается использовать подземный тип прокладки в непроходных каналах. На незастроенной территории или в зонах промышленной застройки предлагается использовать надземную прокладку на низких опорах, что снизит стоимость проекта.

Подключение потребителей к спроектированным тепловым сетям предлагается выполнить через уже существующие квартальные тепловые сети действующих котельных. Данные котельные после переключения нагрузки будут выведены из эксплуатации, что дополнительно снизит себестоимость производства тепловой энергии в масштабах города и положительно повлияет на тариф для конечного потребителя. Отдельные котельные в наиболее отдаленных районах могут быть консервированы для сохранения резервного источника теплоснабжения в случае аварийной ситуации на тепловых сетях.

Для моделирования гидравлических режимов работы спроектированных магистральных тепловых сетей использовался программный комплекс Zulu Thermo. В нем также были выполнены расчеты надежности теплоснабжения потребителей.

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.**

*Б.А. Гильфанов, асп.; рук. Н.Д. Чичирова, д.т.н., проф.,
(КГЭУ, г. Казань)*

КОМПЛЕКСОННАЯ ОБРАБОТКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ТЭС

Оборудование современных ТЭС и АЭС эксплуатируется при высоких тепловых нагрузках, что требует жесткого ограничения толщины отложений на поверхностях нагрева по условиям температурного режима металла. Такие отложения образуются из примесей, поступающих в циклы электростанций, с добавочной водой, поэтому обеспечение высокого качества водных теплоносителей ТЭС и АЭС является важнейшей задачей.

Для обработки воды в теплотехнических системах различных типов применяются различные комплексонные препараты. Первоначально была применена динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) - трилон Б и некоторые другие карбоновые комплексоны. Но позже, с появлением фосфорорганических комплексонов, поликарбонные комплексоны были вытеснены ими как более эффективными. В настоящее время именно фосфорорганические комплексоны широко используются для ингибирования солеотложений в системах оборотного и замкнутого водоснабжения. Наиболее эффективны комплексоны, в молекулах которых содержится несколько (три и больше) фосфоновых группировок. Наиболее успешно применяемыми фосфорорганическими комплексонами являются следующие: оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ); нитрилтриметилфосфоновая кислота (НТФ); весьма эффективный комплексный ингибитор солеотложения и коррозии ИОМС; 2-оксипропилен-1,3- диамин-тетраметилфосфоновая кислота (ДПФ) выпускается смесь под названием ДПФ-1 или фосфанол.

Каждый из предложенных ингибиторов солеотложения имеет свою «специальность» - тип солеотложений, который он предотвращает наилучшим образом. Экономический эффект от применения ингибиторов солеотложения может составлять сотни миллионов рублей, а экологический эффект трудно переоценить: достигается экономия воды и предотвращается сброс загрязненных, минерализованных вод в окружающую среду.

Библиографический список

1. **Филимонов А.Г.**, Чичиров А.А., Гайнутдинова Л.И., Чичирова Н.Д. Методы анализа фазово-нестабильных сред в водных теплоносителях ТЭС и систем теплоснабжения// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. №5-6, С. 11-16.

*Д.С. Романов; В.В. Дорохов; К.Ю. Вершинина к.ф.-м.н, доцент
(НИ ТПУ, г. Томск)*

ЗАЖИГАНИЕ И ГОРЕНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ НА ОСНОВЕ УГОЛЬНОГО ШЛАМА

Промышленные технологии сжигания и газификации суспензионных топлив в будущем могут стать одним из серьезных направлений развития энергетики во многих регионах мира. В 1970-х гг. суспензии на основе угольной пыли рассматривались в качестве альтернативы нефти и мазуту [1]. В связи со стабилизацией энергетического рынка интерес к водоугольным топливам снизился. Однако последние несколько лет научные группы из многих стран получают результаты, обосновывающие не только энергетические, но и в большой степени экологические перспективы суспензионных топлив.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование реологических и энергетических характеристик топливных смесей, стабилизированных несколькими перспективными добавками. Полученные новые знания имеют прикладную значимость для обеспечения высокого качества процессов приготовления, транспортировки, распыления и сжигания многокомпонентных низкосортных топлив на тепловых станциях.

В ходе проведения экспериментов были получены следующие результаты:

- Дополнительные компоненты в относительно низкой концентрации (1 % масс.) оказывают комплексное действие на характеристики топливной суспензии. Добавка дизельного топлива позволяет снизить температуру зажигания смеси до 370 °С и ускорить зажигание в среднем на 10–12 %.

- Наименьшая длительность горения характерна для топливной смеси «50% угольный шлам, 49 % вода, 1 % дизель». Длительность горения данной топливной смеси на 20–40 % ниже, чем у остальных суспензий.

- Использование добавок привело к увеличению статической устойчивости смесей на 10–12 %, вязкость смесей увеличилась в 1,5–2 раза.

Библиографический список

1. G. Papachristodoulou, O. Trass, Coal slurry fuel technology, Can. J. Chem. Eng. 1987, V. 65, P. 177–201.

*Р.М. Федоренко, асп.; Д.В. Антонов, м.н.с.; Д.С. Разумов, студ.; рук.
П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., проф.
(НИ ТПУ, г. Томск)*

ИЗУЧЕНИЕ ЦЕПНЫХ МЕХАНИЗМОВ ФРАГМЕНТАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ КАПЕЛЬ И ВТОРИЧНЫХ ФРАГМЕНТОВ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

Большое количество научно-исследовательских коллективов занимается разработкой альтернативных видов топлива [1]. Это вызвано ростом цен на традиционное топливо, истощением его запасов и негативным воздействием выбросов на окружающую среду при его горении. Кроме того, ужесточение требований к выбросам выхлопных газов при работе энергетических установок (ДВС, ГТЭС, КС и т.д.) является одним из ключевых факторов при разработке новых видов топлива и совершенствовании методик его сжигания. Одним из вариантов решения данных проблем является использование методики вторичного измельчения капель жидкостей [2].

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований условий реализации так называемых цепных механизмов, характеризующих группу последовательных фрагментаций композиционных капель в высокотемпературной газовой среде. Опыты проведены с группой исходных капель, закрепленных в высокотемпературной газовой среде на разном удалении и при разных схемах взаимного расположения, а также при движении группы капель в газовой среде в режиме свободного падения. Выполнена математическая обработка результатов опытов с целью получения аппроксимационных выражений для установленных экспериментальных зависимостей времен задержки между последовательными фрагментациями, количеством формируемых капель, их размерами и другими характеристиками.

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 21-71-10008, <https://rscf.ru/project/21-71-10008/>).

Библиографический список

- 1. Boggavarapu, P.,** Ramesh, S. P., Avulapati, M. M. & RV, R. Secondary breakup of water and surrogate fuels: Breakup modes and resultant droplet sizes // International Journal of Multiphase Flow. 2021. V. 145. 103816.
- 2. Fu, W. B.,** Hou, L. Y., Wang, L. & Ma, F. H. A unified model for the micro-explosion of emulsified droplets of oil and water // Fuel Processing Technology. 2002. V. 79. P. 107-119.

*Ашимов Б.Е., студ., Арчаков И.Д., студ.,
Е.К. Болатбеков, студ., рук. О.А. Степанова, к.т.н., доц.
(НАО «Университет имени Шакарима города Семей»,
г.Семей)*

К ВОПРОСУ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Осуществление очистки дымовых газов объектов теплоэнергетики, работающих на твердом топливе остается актуальной задачей, так как дымовые газы включают в себя вредные вещества как в виде золowych частиц, так и в виде оксидов серы и азота, что влияет на экологическую обстановку. Этому вопросу посвящено большое количество работ [1, 2, 3].

Целью исследования – провести анализ эффективности работы циклонного золоуловителя для котельной установки, работающей на непроектном угле Каражыринского месторождения (Восточно-Казахстанская область).

Основные рабочие параметры золоулавливающей установки отличаются от проектных: объем дымовых газов поступающих на очистку – 46000 м³/ч; температура дымовых газов на входе в установку – 128 °С; условная скорость газов в элементах – 4,2 м/с; степень очистки дымовых газов – 85,1 %; присосы холодного воздуха в установку – 10 %.

В результате экспериментальных исследований была получена аналитическая зависимость изменения расхода золы G'' , кг/час, выбрасываемой в атмосферу в зависимости от паропроизводительности:

$$G'' = 1,492D^2 - 79,799D + 1131,6$$

где D – паропроизводительность, т/час.

Библиографический список

1. **Теряева Т.Н.**, Исмагилов З.Р., Михайлова Е.С., Пилин М.О. Комплексная очистка дымовых газов теплоэлектростанций угольной генерации. Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». Кемерово, 18–21 апреля 2017 года. С. 62011.
2. **Пугачев Н.С.** Исследование рукавных фильтров для очистки дымового газа. Наука через призму времени. 2021. № 7 (52). С. 33-35.
3. **Томощук С.В.**, Блинова Д.С. Оценка воздействия теплоэлектроцентрали (тэц) на окружающую среду. Наука, общество, культура: проблемы и перспективы взаимодействия в современном мире. Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции. г. Петрозаводск, 2021. С. 256-268.

*В.В. Дорохов; Д.С. Романов; рук. Няшина Г.С. к.т.н, доцент
(НИ ТПУ, г. Томск)*

АНТРОПОГЕННЫЕ ГАЗОВЫЕ ВЫБРОСЫ ПРИ СЖИГАНИИ СУСПЕНЗИОННЫХ ТОПЛИВ

В связи с постоянно увеличивающимся антропогенным давлением на атмосферу, все чаще встает вопрос об использовании более экологичных технологий для производства тепловой и электрической энергии. Одной из таких перспективных технологий является использование суспензионного водоугольного топлива вместо традиционного котельного топлива (угля и мазута) [1].

Целью данной работы является определение концентраций антропогенных выбросов, образующихся при сжигании каменного угля и суспензионных топлив на основе угля, отходов углеобогащения, отходов деревообрабатывающей промышленности и отработанного турбинного масла. Для более наглядного сравнения антропогенные выбросы были нормированы относительно массы сжигаемого топлива, полученной тепловой энергии и массы загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в единицу времени.

В результате экспериментального исследования были получены следующие результаты:

- Сжигание каменного угля характеризуется наивысшими средними значениями концентраций антропогенных выбросов при сжигании одинаковой массы топлива. При сжигании суспензионного топлива, выбросы CO₂ снижаются на 12-52%, выбросы SO₂ снижаются на 24-90%, а выбросы NO_x снижаются на 28-60%.

- При нормировании антропогенных выбросов относительно производимой тепловой энергии, уровень оксидов серы и азота при сжигании суспензионных топлив оказался на 20-70% ниже, чем при сжигании каменного угля. При этом уровень выбросов CO₂ снизился не более, чем на 16%.

- Концентрации выбросов CO₂, SO₂ и NO_x, образующихся в единицу времени при сжигании угля выше, чем при сжигании суспензионного топлива, на 35-79%, 53-80% и 50-85% соответственно.

Библиографический список

1. **Dorokhov V.V.**, Kuznetsov G.V., Nyashina G.S., Strizhak P.A. Composition of a gas and ash mixture formed during the pyrolysis and combustion of coal-water slurries containing petrochemicals / Dorokhov V.V., Kuznetsov G.V., Nyashina G.S., Strizhak P.A. // Environmental Pollution. – 2021. – Vol. 285. – P. 117390.

ПРИМЕНЕНИЕ КАРБОНАТНОГО ШЛАМА ДЛЯ ОЧИСТКИ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО КОН- ЦЕНТРАТА ТЭС

В последние годы в России возрастает потребление электрической и тепловой энергии, вырабатываемой на ТЭС. Теплоэнергетика занимает одно из первых мест среди различных отраслей промышленности по количеству потребляемых ресурсов. В процессе выработки тепловой и электрической энергии на ТЭС образуются жидкий отход – обратнo-осмотический концентрат и твердый отход – шлам химводоподготовки, являющийся неизбежными побочными продуктами, усиливающими антропогенное воздействие на окружающую среду.

Для снижения антропогенного воздействия на водные объекты окружающей среды применяются различные технологии очистки высокоминерализованных вод ТЭС. В работе предлагается адсорбционная очистка отходом энергетики обратнo-осмотических вод от сульфат-ионов и хлорид-ионов. В качестве адсорбента используется твердый отход энергетики – карбонатный шлам химводоподготовки (ХВП). Данный материал образуется на стадии предварительной очистки в результате процессов известкования и коагуляции.

Проведен лабораторный эксперимент по определению адсорбционной емкости шлама, построена изотерма адсорбции, влияние рН на адсорбцию по отношению к сульфат- и хлорид-ионам [1].

На промышленных предприятиях для обессоливания сточных вод применяют ионообменные фильтры с гранулированной загрузкой. На основе этого разработан гранулированный сорбционный материал из шлама ХВП, который имеет адсорбционную емкость способную поглощать сульфат- и хлорид-ионы.

Разработанная технология очистки обратнo-осмотического концентрата промышленных предприятий гранулированным сорбционным материалом на основе карбонатного шлама позволит снизить солесодержание исходной воды до норм ПДК водных объектов рыбохозяйственного значения (по сульфат-ионам 100 мг/дм³, по хлорид-ионам до 300 мг/дм³). Эффективность очистки должна составить более 98%.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №18-79-10136 <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>

Библиографический список

1. Николаева Л.А., Миняева А.Р. Адсорбционная очистка обратнo-осмотического концентрата // Теплоэнергетика. 2019, №5, с. 95-100.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ БЕНЗАПИРЕНА

Выработка энергии, получаемой при сжигании органического ископаемого топлива, приводит к негативному воздействию на окружающую среду (НВОС). Для снижения НВОС многие ТЭЦ центрального региона России в качестве методов снижения выбросов оксидов азота используют рециркуляцию дымовых газов и ступенчатое сжигание топлива. Но эти мероприятия оказывают значительное влияние на выбросы бенз(а)пирена в атмосферу и поэтому необходимо провести оптимизацию этих мероприятий.

В качестве примера рассмотрены сочетания мероприятий для котла марки ТГМ-96Б, при его работе на газе в среднем 4340 часов в год. Изначально на котле использовалась только рециркуляция дымовых газов с вводом газов рециркуляции по наружному каналу горелок, при этом выбросы оксидов азота и бенз(а)пирена составили, соответственно, $M_{NO_2} = 119,5078$ г/с и $M_{бп} = 0,003150289$ г/с.

Были рассмотрены разные сочетания мероприятий по снижению выбросов оксидов азота. В качестве оптимального сочетания было определено использование способа ввода газов рециркуляции в расщепку двух воздушных потоков и степени рециркуляции дымовых газов 0,15, при доле воздуха, подаваемого помимо основных горелок 0,2. При этих параметрах выброс оксидов азота составил $M_{NO_2} = 75,17664$ г/с, выброс бенз(а)пирена – $M_{бп} = 0,002173699$ г/с. Снижение выброса оксидов азота составило 37 %, бенз(а)пирена – 31 %.

Таким образом возможно получить и экологическую, и экономическую выгоды. Снижение платы по оксидам азота составит около 105 тыс. руб/год, по бенз(а)пирену более 91 тыс. руб/год.

Проводя оптимизацию мероприятий по подавлению образования оксидов азота в процессе горения с учетом образования бенз(а)пирена, возможно получить сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, а также сократить расходы предприятия в виде платы за НВОС по двум выбросам вредных веществ более чем на 195 тыс. руб/год.

Е.В. Колесова, студ.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОЧИСТКА ТРАПНЫХ ВОД ПАЭС

Цель работы: изучение возможности отказа от применения ВУ СВО и очистка трапных вод ПАЭС с использованием механических фильтров, либо механических фильтров в сочетании с ионообменными фильтрами для доведения качества и активности трапных вод до значений, допустимых для сброса на ПЛК.

На лабораторной установке проводилась очистка трапных вод через колонку, заполненную активированным углем, затем очистка трапных вод осуществлялась последовательно через колонки, заполненные активированным углем и ионообменной смолой для определения степени очистки от растворенных примесей и снижения активности, а также определения возможности сброса трапных вод на ПЛК, используя данную схему очистки.

По результатам проведенных экспериментальных анализов были определены значения альфа, бета, гамма активностей и радионуклидных составов в ранее не контролируемых частях замкнутой системы переработки трапных вод и подпитки ОЦК энергоблоков.

В результате сравнительного анализа была определена зависимость изменения гамма активности на каждой из стадий очистки (см. рис. 1).

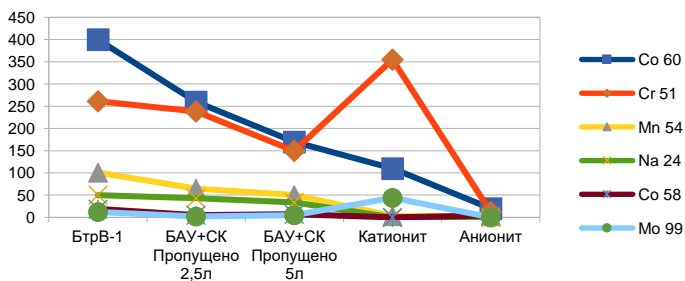


Рисунок 1 - Зависимость изменения гамма активности на каждой из стадий очистки

На основании полученных результатов принято решение о необходимости рассмотрения альтернативных типов загрузки, способных эффективнее производить очистку от радионуклидов (Co60), в частности «ТЕРМОКСИД».

*П.А. Лисова, студ.; рук. Н.А. Еремина, к.т.н., доц.
ИГЭУ, г. Иваново*

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОРБЕНТОВ ДЛЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОКОВ ТЭС

В ходе научно-исследовательской работы была произведена оценка пригодности нефтяных сорбентов в качестве фильтрующей загрузки сорбционного фильтра для среднестатистической ТЭС центрального региона.

Были проанализированы следующие сорбенты: активированный древесный уголь БАУ-А; Версойл; гранулированный активированный кокосовый уголь; Мегасорб-Ф; сорбент ОДМ-2Ф; БИО сорбент С-ВЕРАД; сорбент АС; ПироСорб. В качестве сравнительных показателей были выбраны: сорбционная емкость, нефтеёмкость, ёмкость по нефтепродуктам в динамических условиях, г/г; возможность регенерации; насыпная плотность, кг/м^3 , объёмный насыпной вес, г/дм^3 ; пористость, межзерновая пористость, %.

В результате проведения сравнительного анализа были выделены 2 сорбента - это Версойл и БИО сорбент С-ВЕРАД. По ним были проведены оценочные расчеты по установке сорбционных фильтров для доочистки стоков объемом $525600 \text{ м}^3/\text{год}$. предложено 2 варианта: установить 4 фильтра, диаметр каждого из которых 1,5 м, высота слоя загрузки 1 м с использованием в качестве загрузки сорбента Версойл; либо установить 4 фильтра, диаметр каждого из которых 2,0 м, высота слоя загрузки 1 м с использованием в качестве загрузки БИО сорбента С-ВЕРАД. Так же рассчитан фильтроцикл, который составил для Версойл - 185,62 мес. и для БИО сорбента С-ВЕРАД - 137,19 мес. Стоимость БИО сорбента С-ВЕРАД составляет 32000 руб/м^3 , для Версойл – 1530 руб/м^3 .

Обобщив выводы по сравнению всех показателей, можно сказать, что оба эти сорбента могут применяться, как фильтрующая загрузка фильтров по доочистке нефтезагрязненных стоков, т.к. их характеристики вполне приемлемы для данных целей. Но т.к. фильтроцикл сорбента Версойл больше, а цена меньше БИО сорбента С-ВЕРАД, то более приемлемо будет порекомендовать именно его. Окончательный выбор можно сделать только после опытно-промышленных испытаний и при учете финансовых затрат.

*Е.Р. Облецова, студ.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ НА СТАДИИ КАТИОНИРОВАНИЯ ВПУ ТЭЦ-25 ПАО «МОСЭНЕРГО»

В период прохождения производственной практики на ТЭЦ-25 ПАО «Мосэнерго» мною была проанализирована технологическая схема водоподготовительной установки (ВПУ) и применяемые в ней технологии. Применение катионитов различных марок в первой ступени Н-катионирования навели меня на мысль проверки технологических возможностей различных вариантов комбинаций фильтрующих загрузок и их влияние на режимные показатели цепочек ионирования.

В своей работе, проанализировав полученные данные со станции, было принято решение, отказаться от предвключенного Н-катионитного фильтра первой ступени и загрузить Н-катионитный фильтр первой ступени катионитом Токем-200 с рабочей обменной емкостью

Ераб=2300 г(экв)/л, вместо КУ-2-8 с меньшей обменной емкостью равной Ераб=900 г(экв)/л для сокращения объема реагентов на регенерацию, а также сокращение количества образующихся сточных вод.

Для этого произведен поверочный расчет ВПУ по трем вариантам:

- 1) фактический технологический режим;
- 2) технологический режим после замены фильтрующего материала в составе 50 % объема – катионит Токем-200 и 50 % объема – катионит КУ-2-8;
- 3) технологический режим после замены всего фильтрующего материала на катионит марки Токем-200.

На основе полученных расчетов выполнен сравнительный анализ и представлено технико-экономическое обоснование.

Результатом потенциального внедрения рассматриваемых технологических решений является: сокращение числа фильтров первой ступени; уменьшение удельных расходов кислоты на регенерацию; уменьшение количества сточных вод и одновременное сокращение коэффициента собственных нужд цепочки. Наряду с этим будет достигнута финансовая экономия.

Библиографический список

1. **Вихрев В.В.** Проектирование водоподготовительных установок тепловых и атомных электростанций: Учеб. Пособие/ Иван. Гос. Энерг. Ун-т – Иваново, 1993. 98с

*Е.В. Воронина, студ.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА НА ТЭЦ-26 ПАО «МОСЭНЕРГО»

Для обоснования введения методов по подавлению NO_x на ТЭЦ-26, мною выполнен расчет фактических выбросов до и после реализации указанных выше мероприятий. Применение ступенчатого сжигания совместно с рециркуляцией имеет эффективность подавления 56 % и дает возможность снизить значение фактических выбросов NO_2 более чем в 2 раза, что соответствует НДВ [1].

Мероприятия, используемые в настоящее время на ТЭЦ, являются не единственными в борьбе с повышенными выбросами оксидов азота. В 2022 году на станции планируется обновление горелочных устройств на прямоточных котлах ТГМП-314П. Мною предлагается замена на новые малотоксичные горелки марки ГГМ-100. С использованием полученных значений фактических выбросов, вычислена эффективность подавления окислов азота, которая обеспечивается комбинацией существующих методов и вводом горелок с низким выбросом NO_x , она составила 70,5 %. Исходя из этого эффективность использования малотоксичных горелок, как отдельного мероприятия – 33 %.

Применение комбинации 3-х методов обеспечит повышение эффективности подавления NO_x . Это позволит не только улучшить экологическую обстановку в данном районе Москвы, но и снизить расходы ТЭЦ на плату за НВОС примерно на 132 тыс. рублей в год, что составляет 29 % платы по нормативу [2].

Так же, после модернизации горелочных устройств можно добиться еще более высокой экономической выгоды. Станция может провести испытания по частичному отключению системы рециркуляции дымовых газов на котлах ТГМП-314, что приведёт к сокращению издержек электроэнергии на собственные нужды ~ 6,04 млн. руб./год. При принятии станцией такого решения, эффективность оставшихся мероприятий обеспечит снижения NO_x на 60 %, что в сравнении со значениями 2020 г. выше на 4 %.

Библиографический список

1. **ОНД-86.** Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеониздат, 1987. – 94 с.
2. **Постановление** Правительства РФ от 27.12.2019 № 1904 "О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 3 марта 2017 г. № 255" // Собрание законодательства РФ. - 2020 г. - № 1. - Ст. 90 (Часть II).

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

УЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ШЛАМА В РЕЖИМЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ С КОАГУЛЯЦИЕЙ

На многих предприятиях энергетики и в частности химических цехах требуется учитывать сбросы, образующиеся в результате работы ВПУ. Одним из основных источников сбросов на ВПУ являются осветлители и механические фильтры, в которых образуются шламовые воды.

В данной работе приведена единая универсальная формула нахождения концентрации образующегося шлама в режиме коагуляции с известкованием (1) с учетом современных данных [1].

$$C_{\text{ш}} = \Delta C^{\text{взв}} + 50 \cdot (\Delta J_{Ca} + D_{\text{и}}) + (53 + 1,36 \cdot \alpha_{\text{н.р.}}) \cdot D_{\text{к}} + 29 \cdot \Delta J_{Mg} + 2,15 \cdot \Delta O_{\text{к}} + 0,56 \cdot D_{\text{и}} \cdot \alpha_{\text{и}}, \text{ мг/л}, \quad (1)$$

где $\Delta C^{\text{взв}}$ – удаляемые взвешенные вещества, мг/л; ΔJ_{Ca} – удаляемая кальциевая жесткость, мг-экв/л; $D_{\text{и}}$ – доза извести, мг-экв/л; $D_{\text{к}}$ – доза коагулянта мг-экв/л; ΔJ_{Mg} – удаляемая магниевая, мг-экв/л; $\Delta O_{\text{к}}$ – удаляемая окисляемость, мгО/л; $\alpha_{\text{и}}$ – примеси в известковом молоке, %; $\alpha_{\text{н.р.}}$ – примеси в коагулянте.

Сопоставлены различные варианты расчетов с использованием формулы (1), результаты расчетов приведены в табл.1.

Таблица 1 - Расхождение расчетов с возможными вариантами расчетов с использованием формулы (1)

Условия учета количества образующегося шлама	Среднее относительное расхождение, %
Без учета параметров $(0,56 \cdot D_{\text{и}} \cdot \alpha_{\text{и}})$ и $(1,36 \cdot \alpha_{\text{н.р.}} \cdot D_{\text{к}})$	-4,8
Без учета параметра $(2,15 \cdot \Delta O_{\text{к}})$ – удаляемой органики, без учета параметров $(0,56 \cdot D_{\text{и}} \cdot \alpha_{\text{и}})$ и $(1,36 \cdot \alpha_{\text{н.р.}} \cdot D_{\text{к}})$	-7,2
Без учета параметра $(2,15 \cdot \Delta O_{\text{к}})$ – удаляемой органики	-2,4

Наибольшую относительную погрешность в расчет вносит параметр содержания нерастворимых примесей в дозируемых реагентах.

Библиографический список

1. С. М. Найман, Ч. Б. Медведева - Количественная оценка шлама от химводоподготовки / Вестник технологического университета. 2015. Т.18, №17.

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

УТИЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ ХИМИЧЕСКИХ ОТМЫВОК ОБОРУДОВАНИЯ

На внутренних поверхностях котельных агрегатов и другого энергетического оборудования могут образовываться отложения или накипь из-за присутствия в нагреваемой и испаряемой воде различных примесей. Они способны вызывать опасный перегрев этих поверхностей или снижение экономичности и эффективности работы аппарата. Что бы этого не допустить, предусматривается предпусковая и эксплуатационная очистка теплотехнического оборудования.

Для проведения эксплуатационных химических очисток используется соляная кислота с ингибиторами (например, уротропин), замедляющими скорость взаимодействия соляной кислоты с металлом труб.

Практически любое вещество, входящее в состав растворов, применяемых для химических очисток и консервации оборудования, может отрицательно влиять на санитарный режим водоемов, используемых как для хозяйственно-питьевого водоснабжения, так и для рыбного хозяйства [1].

На электростанциях с разомкнутыми системами ГЗУ и на газомазутных электростанциях отработанные промывочные растворы после химической очистки оборудования должны сбрасываться на очистные сооружения для нейтрализации и обезвреживания. После этого сброс воды из котлована должен производиться в водоем. Глубина очистки должна быть такой, чтобы после сброса очищенных стоков в водоем, вода последнего удовлетворяла нормам Госсанинспекции и Главрыбвода.

Отработанные растворы после химической очистки и консервации оборудования при отсутствии оборотной системы ГЗУ необходимо собирать в обвалованные водонепроницаемой глиной котлованы. Он должен быть оборудован устройствами подачи реагентов для нейтрализации и обезвреживания, устройствами контроля, а также насосами для перемешивания растворов или откачки в водоем.

Обезвреженные и нейтрализованные в котловане растворы направляются непосредственно в водоем, на золоотвал или для повторного использования в технологическом цикле энергообъекта.

Библиографический список

- 1. Коротков А.Н., Зайцева Е.В.** Химическая очистка оборудования ТЭС и АЭС / А. Н. Коротков, Е. В. Зайцева. - Иваново, 2021. - 132 с.

*Т.С. Ковалева, студ.; Н.А. Озеров, к.т.н., доц.,
(СГТУ, г. Саратов)*

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ЗА КОТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

В современном мире большое внимание уделяется состоянию окружающей среды и ее защите. Котлы ТЭС являются главным источником вредных выбросов в атмосферу, таких как оксиды серы, оксиды азота и др., практически при всех видах сжигаемого топлива.

Превышение выбросов этих загрязнителей над пороговыми значениями, установленными действующими природоохранными нормативами, приводит к ухудшению экологической обстановки крупных городов и промышленных центров, что имеет ряд негативных последствий для человека.

В настоящее время существует огромное количество технологических мероприятий по снижению концентрации оксида азота в уходящих газах котлов. Снижение образования термических NOx достигается путем воздействия на максимальную температуру горения [1]. Это можно осуществить вводом рециркуляционных газов [2], пара и влаги [1] в зону горения, а также многоступенчатым сжиганием [1].

Снижение образования «топливных» NOx можно достичь путем установки малотоксичных горелок [4], нестехиометрическим сжигания топлива [1].

С помощью данных методов выбросы оксидов азота удастся снизить до 50%.

Библиографический список

1. **Губарева, В. В.** Уменьшение выбросов оксида азота в энергетических установках / В. В. Губарева, В. О. Лисяк // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды : Сборник докладов Международной научно-технической конференции, Алушта, 03–07 июня 2019 года. – Алушта: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 103-107.
2. **М. А. Таймаров, Р. В. Ахметова, Р. Г. Сунгатуллин** [и др.] Снижение вредных выбросов в атмосферу оксидов азота котлами ТЭС // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 1(39). – С. 180-187.
3. **Бобров, А. В.** Малотоксичная горелка с форсированной внутренней рециркуляцией / А. В. Бобров // Радиотехника, электротехника и энергетика: Двадцать третья международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Москва, 02–03 марта 2017 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. – С. 244.

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

ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИЕ АМИНЫ КАК ОСНОВНОЙ РЕАГЕНТ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ВХР КОТЛОВ-УТИЛИЗАТОРОВ БЛОКОВ ПГУ

В настоящее время для предотвращения коррозии и накипеобразования на блоках ПГУ с котлами-утилизаторами, чаще всего применяются пленкообразующие амины (ПОА). Возникает актуальный вопрос, какой из основных реагентов экономически выгодно использовать.

Хеламин является смесью поликарбоксилатов и поверхностно-активных насыщенных алкилполиаминов в сочетании с другими аминами различной степени летучести. Применение хеламина дает эффективную защиту от коррозии и отложений в контурах воды и пара. Так же может применяться для предпусковой отмывки и консервации.

Комплексный реагент PuroTech BW4 - реагент на основе пленкообразующих, нейтрализующих аминов и дисперсантов для предотвращения образования отложений не только солей жесткости, но и продуктов коррозии, регулирует значения рН котловой воды в нормируемых пределах; вводится в барабаны котлов НД и ВД, в трубопровод нормального добавка обессоленной воды.

Реагенты ИВА 2504, ИВА 2509 – комплексные реагенты на основе пленкообразующих аминов для коррекционной обработки питательной и котловой воды, при контакте пара с пищевыми продуктами, кроме молока и молочных продуктов. Не увеличивают солесодержание воды. Создают благоприятный режим рН по всему тракту тепловой схемы. Способствуют формированию защитной пленки на новых и ранее эксплуатируемых внутренних поверхностях нагрева котлов и теплообменников. Минимизируют образование кальциевых и минеральных отложений на внутренних поверхностях нагрева.

Все вышеперечисленные реагенты схожи по своим свойствам, качествам и способу применения. Это означает, что реагенты являются взаимозаменяемыми.

Проанализировав рынок пленкообразующих аминов, будет видно, что реагенты под маркой ИВА 2504, ИВА 2509, дешевле своих конкурентов.

Исходя из того, что реагенты являются аналогами друг друга, экономически выгодно будет использовать реагенты марки ИВА 2504, ИВА 2509, что благоприятно скажется на экономической части ТЭЦ.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОДАХ ТЭС

В связи с массовым внедрением на ТЭС РФ высокотехнологичных парогазовых установок, к питательной воде предъявляются повышенные требования по предельному содержанию органических веществ.

Исследования в области поведения органических веществ в технологических водах ТЭС в последнее время приобретают повышенное значение. Высокотехнологические парогазовые установки предъявляют повышенные требования к чистоте питательной воды, т.ч. по содержанию органических веществ [1, 2] Органические вещества являются основной причиной «отравления» сильно основных анионитов с последних ступеней водоподготовительных установок.

Органические вещества поступают в технологические воды ТЭС с исходными природными водами. Как правило, ТЭС средней полосы России используют в качестве исходной – речную воду. По данным [3] органические вещества в речной воде более чем на 80 % состоят из гумусовых веществ. Гумусовые вещества чрезвычайно химически и термически устойчивы и в условиях ТЭС при многостороннем жестком воздействии остаются единственными представителями органических веществ в технологических водах.

Другой предположительный источник органических веществ - продукты деструкции ионитов. Продукты деструкции ионитов по химическому составу скорее подобны гумусовым веществам и отличить их затруднительно.

По результатам исследования сделаны выводы по составу органической части вод, особенностям их поведения, а также перспективам использования спектрального метода для автоматизированного экспресс-анализа производственных вод.

Библиографический список

1. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – СПб.: ДЕАН, 2004. 336 с.
2. **СТО** 70238424.27.100.013-2009 Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условия создания. Нормы и требования. М., 2009.
3. **Качественный** и количественный анализ органических примесей в составе питательных вод котла-утилизатора А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова, А.А. Филимонова*, А.А. Гафиатуллина

*А.И. Валеев, студ.; рук. Ю.Н. Звонарева, к.т.н. доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСОНА В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В последние годы химическая промышленность предложила энергетикам большой выбор ингибиторов (подавителей) солеотложения и коррозии оборудования, называемых общим термином – «комплексонны».

Комплексонны – это органические молекулы с большим количеством реакционных центров, которые, взаимодействуя с металлами, замыкают пяти-, четырех- и восьмичленные циклы с образованием сверхпрочных комплексных соединений.

Комплексонами называют фосфонаты - фосфоорганические соединения, которые способны образовывать прочные комплексы с кальцием и магнием, а также с железом и некоторыми другими элементами. При нагревании воды эти комплексы остаются в растворенном состоянии и не выпадают в осадок на поверхностях нагрева в виде накипи. [1]

В ходе исследований было произведено сравнение затрат на обработку воды с расходом 5 м³/час для котельной в течение одного отопительного сезона методами обработки комплексонами и умягчения ионообменными фильтрами (таблица 1).

Таблица 1 - Анализ затрат на обработку воды

Наименование	Цена за кг, руб.	Кол-во, необходимое за отопительный период, кг	Итого, руб./год
Комплексон	65	148,8	9672
Соль	24	24700,8	592800

Экономический эффект от использования комплексонной технологии водоподготовки взамен умягчения воды ионообменными фильтрами составил 583,13 тыс. руб. за отопительный сезон.

Библиографический список

1. Дятлова Н. М., Темкина В.Я., Попов К.И. Комплексонны и комплексонаты металлов. М. Химия, 1988, с. 466.

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

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ КАЧЕСТВА ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

В Автозаводском районе г. Нижний Новгород, в разных микрорайонах отмечено резкое ухудшение качества горячего водоснабжения. Водоисточник для питьевой воды, на горячее водоснабжение – река Ока. Большое содержание загрязняющих веществ – микробиологических, взвешенных веществ (мутность), железа, соединений азота [1]. На станции водоочистки уровень всех видов загрязнений в подготовленной воде доводят до нормативных значений, но не нулевых [2]. В очищенной воде общее микробное число (ОМЧ) 1-4 КОЕ/см³. Анализ воды на химический состав проводился по методикам ГОСТ [3]. Ключевой показатель – запах. Пробы воды отбирались одновременно в заранее выбранных и согласованных точках. Принцип выбора точек отбора проб – весь путь движения воды от водоисточника до потребителя.

Таблица 1 - Результаты химического анализа проб воды

№	Адрес	УЭЦ, мкСм	СС, г/дм ³	рН	Сl, мг/дм ³	ПО, мгОл	А(200)	Fe, мг/дм ³	Н ₃ , мг/дм ³
1	Исходная вода, р. Ока	0,42	0,21	7,96	8,46	9	1,7	0,273	0,166
2	Вход на ООО «Автозаводская ТЭЦ»	0,46	0,23	7,14	23	4,2	1,21	0,225	0,084
3	Выход с ООО «Автозаводская ТЭЦ»	0,45	0,23	7,14	23	4,2	1	0,223	1,137
4	Ул. Строкина, д. 12	0,48	0,24	7,78	25,5	4,2	0,65	0,063	0,875
5	Ул. Раевского, д. 17	0,5	0,25	8,21	23	3,9	0,64	0,243	0,087
6	Пр. Ильича, д. 40а	0,46	0,23	7,65	23	4,6	0,84	0,287	1,424
7	Ул. Мельникова, д. 30	0,46	0,23	7,69	25,5	4,8	0,82	0,255	1,243

Вывод: все показатели воды находились в пределах допустимой концентрации, непостоянно рН воды, повышено содержание аммонийных соединений относительно исходной воды.

Библиографический список

1. **Ротов П.В.**, Сивухин А.А., Ротова М.А., Гафуров Р.А., Горшков А.В. Об эффективности управления циркуляцией горячей воды. // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. №22(6). С. 117-129.
2. **Водоподготовка:** Справочник. /Под ред. д.т.н. действ. члена АПЭ С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
3. **ГОСТ Р 57164-2016.** «Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности».

*М. Гапеку, студ.; рук. А.Ю. Власова, к.т.н.
(КГЭУ, г. Казань)*

АНАЛИЗ ОТХОДОВ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК МЕМБРАННОГО ТИПА

На сегодняшний день существует множество методов удаления загрязняющих веществ из воды, мембранная очистка становится все более распространенной по мере совершенствования технологий и увеличения загрязнения водоисточников.

Химические методы очистки заменяются более экологически безопасными физическими мембранными технологиями [1]. Мембраны значительно уменьшают количество бактерий и, таким образом, гарантируют качество воды для применения в различных областях производств. Мембранная фильтрация является физическим методом очистки воды, которая не требует использования химических реагентов.

В процессе мембранной очистки образуется концентрат (сток) и очищенная вода [2]. Концентрат после обратного осмоса представляет собой высокоминерализованный сток, который может быть использован повторно на станции после очистки.

Очистка концентрата может быть выполнена на Н-катионитном фильтре слабой кислотности с карбоксильными функциональными группами, либо с применением Na-катионитного фильтра для получения умягченной воды для теплосети [3].

Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов и докторов наук при Президенте РФ (Конкурс - МК-2021). Заявка № МК-1312.2021.4. Соглашение №075-15-2021-289 от 15.04.2021.

Библиографический список

1. **Разделение** и очистка веществ мембранными бобменными и электрохимическими методами. – 2008. – С.15-17.
2. **Заболоцкий В.И** и др. Развитие элестродиализа в России // информационно-аналитический журнал «мембраны». – 2000.
3. **Мембранные** биореакторы для очистки городских сточных вод Обратная связь-июнь 2013.

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

ОБРАЗОВАНИЕ КАНЦЕРОГЕННЫХ ПАУ ПРИ СЖИГАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОП- ЛИВА

В соответствии с новыми требованиями природоохранного законодательства при подготовке заявки на получение комплексного экологического разрешения (КЭР) согласно Приказу Минприроды РФ от 14.02.2019 № 89 «Об утверждении Правил разработки технологических нормативов» и приказу от 17.12.2018 № 666 «Об утверждении правил разработки программы повышения экологической эффективности» на энергетических предприятиях должны определяться нормативы допустимых выбросов высокотоксичных веществ, веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными свойствами (веществ I и II классов опасности), рассчитанных для каждого источника загрязняющих веществ. К таким веществам относятся полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), образующиеся при определенных режимных условиях сжигания топлива в котлах тепловых электрических станций (ТЭС). Необходимо отметить, что инструментальное определение концентрации бенз(а)пирена (БП) в дымовых газах котлов ТЭС представляет сложную задачу и выполняется лишь некоторыми специализированным лабораториями. На основе данных компьютерного моделирования обоснован выбор контрольного сечения для установки пробоотборных систем с усредняющими зондами при проведении инструментальных измерений концентраций ПАУ, в том числе БП, что позволит энергетическим объектам различных категорий в соответствии с новыми принципами государственного регулирования в области охраны окружающей среды обеспечить требуемую суммарную относительную погрешность инструментальных измерений скорости и концентрации газообразных загрязняющих веществ, суммарную относительную погрешность измерений массового выброса загрязняющих веществ при организации учета вредных выбросов и выполнении общих задач производственного экологического контроля.

Полученные результаты могут быть использованы энергетическими предприятиями различных категорий по степени негативного воздействия на окружающую среду при установлении технологических нормативов и нормативов допустимых выбросов канцерогенных и мутагенных веществ, рассчитанных для каждого источника выброса веществ, при подготовке и пересмотре заявки на получение комплексного экологического разрешения.

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

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛООТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ ПЕРМСКОЙ ГРЭС

Говоря о современных технологиях экономического развития теплоэнергетики все больший интерес привлекают уже основательно рекомендовавшие себя малоотходные технологии. Малоотходные технологии обеспечивают максимально полное использование ресурсов предприятия и образующихся при этом отходов, формируя замкнутую систему. Применение таких технологий позволяет минимизировать сброс загрязняющих веществ, отпускаемых предприятием, снизить расход реагентов на регенерации, а также содержание некоторых веществ в обрабатываемой воде, усовершенствовав при этом технологии водоподготовки.

Пермская ГРЭС в своей эксплуатации используется трехступенчатое обессоливания воды, с Н и ОН анионированием. Альтернативой данной технологии, используемой многими предприятиями, являются противоточные технологии с ионообменной регенерацией АПКОР и Швеббегет. Данные технологии снижают скорость срабатывания ионообменного материала от 30 до 50 %, увеличивают качество деминерализации, значительно уменьшая при этом расход реагентов на регенерации, что позволяет увеличить производительность практически на 17% а также снижает количество воды, опускаемой на собственные нужды и сточные воды.

Возможность внедрения мембранных технологий, а именно, установок обратного осмоса и ультрафильтрации обеспечит уменьшение содержания нитратов, сульфатов, хлоридов, сухого остатка и мутности. Установки обратного осмоса, по сравнению с традиционной схемой обессоливания, характеризуются меньшими затратами реагентов на регенерации, не образуя, при этом высокоминерализованные стоки, исключая необходимость их нейтрализации. А также способны задерживать до 99 % примесей, пропуская только молекулы воздуха и воды.

*А.Р. Лукашова, студ.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА ВАРИАНТА ПРЕДОЧИСТКИ ВОДЫ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОСВЕТИТЕЛЯ

Большинство станций в настоящее время применяют методы и приемы для улучшения не только эффективности работы, но и для экономической выгоды. Одним из методов является вывод осветлителя в качестве отстойника. Если в неочищенной воде все взвешенные твердые частицы были достаточно велики, чтобы их можно было легко удалить с помощью известных методов очистки, то обработка химическими коагулянтами не требовалась бы.

Концентрация шлама в воде с осветлителем в качестве отстойника характеризуется только концентрацией взвешенных веществ, а при использовании осветлителя ещё и показателями окисляемости, дозы коагулянта, дозы флокулянта. Поэтому их использование в цикле значительно повышает концентрацию шлама и ее среднее значение для ТЭЦ-26 составляет 28,7 мг/л, а после вывода осветлителей всего 0,2 мг/л.

Механический фильтр является неотъемлемой частью предварительной обработки воды на ТЭЦ. В режиме использования осветлителей, есть возможность выноса коагулянта на механический фильтр, что сказывается на его фильтроцикле. Поэтому значение фильтроцикла МФ с учетом использования осветлителей составляет 302 ч, а без них - 75,5 ч.

Отказ ТЭЦ от традиционной предочистки, т.е. использование осветлителя в качестве отстойника, носит свои положительные и отрицательные аспекты. При работе механического фильтра уменьшается его фильтроцикл. Это связано с тем, что не используется коагуляция с известкованием, следовательно, взвешенные вещества, которые могли осесть в осветлителе, попадают на механический фильтр. Однако в экономическом плане, отказ от осветлителя является выгодным, так как бюджет не расходуется на приобретение реагентов и обслуживание оборудования, связанного с ним, в т.ч. сокращается сброс сульфатов и натрия в сточные воды. Это позволяет распределить бюджет, который шел раньше на осветлители, а это примерно 2-2,5 млн. рублей, на обслуживание другого оборудования и операции техногенного цикла.

Также можно отметить, что вывод осветлителей позволил снизить концентрацию шлама в воде, тем самым уменьшить негативный вклад на загрязнение сточных вод.

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

КОНСЕРВАЦИЯ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИМИ АМИНАМИ

При длительных остановках оборудования может возникать стояночная коррозия, которая протекает при наличии влаги, кислорода, углекислоты и других коррозионно-агрессивных веществ. Поэтому проблема защиты оборудования от стояночной коррозии является актуальной. Одним из путей решения данной проблемы является выбор эффективных методов и условий консервации теплоэнергетического оборудования.

В настоящее время все большее применение находят пленкообразующие амины. Использование водной эмульсии смеси первичных пленкообразующих алифатических аминов C_{16} - C_{18} позволяет надежно защищать оборудование от стояночной коррозии, способствует подавлению коррозионных процессов, как водяного, так и парового трактов, сокращает время пуска в работу после нахождения в консервации, повышает надежность и экономичность работы оборудования.

Дозирование в контур оборудования смеси аминоксодержащего соединения в виде готовой холодной эмульсии обеспечивает более равномерное осаждение консерванта на внутренних поверхностях оборудования и более равномерное распределение консерванта между паровой и водяной фазами. Равномерность распределения достигается в результате выполнения следующих операций: после заполнения холодного контура раствором с последующей циркуляцией производится его разогрев и постепенное равномерное формирование защитной пленки на всех поверхностях; в процессе разогрева под действием температуры выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ эмульсия распадается на исходные пленкообразующие амины (ПОА) и воду. Процесс выделения из эмульсии и адсорбция ПОА на внутренних поверхностях оборудования происходит во времени постепенно, и сопровождается переносом циркулирующего с рабочим телом (водой или паром) консерванта и одновременным динамическим его взаимодействием с внутренними поверхностями оборудования, что приводит к более равномерному осаждению консерванта по тракту котла.

Библиографический список

1. Филиппов Г.А. Консервация теплоэнергетического оборудования с использованием реагентов на основе пленкообразующих аминов Теплоэнергетика, 1999. №9 с. 71-75.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ЭТАНОЛАМИНА ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ВХР ВТОРОГО КОНТУРА АЭС

Этаноламин (ЭТА) применяется для корректировки водно-химического режима второго контура АЭС с реакторами типа ВВЭР. Дозирование ЭТА с концентрацией $0,8 \div 1$ мг/дм³ в конденсат применяется для уменьшения коррозии оборудования парогенераторного контура. На блоках с ВВЭР-1000 на Балаковской АЭС ЭТА заменил гидразинно-аммиачный ВХР (ГАВР) второго контура, что позволило снизить концентрацию железа в питательной воде парогенераторов с $6 \div 12$ до $2,0 \div 2,5$ мкг/дм³, средняя концентрация меди снизилась с $1,64$ мкг/дм³ до $1,26$ мкг/дм³. При дозировании этаноламина наблюдалось снижение концентрации меди в основном конденсате за ПНД-4 и железа в питательной воде парогенератора не менее чем на 25 % [1].

Уменьшение концентрации продуктов коррозии в питательной воде парогенератора достигалось за счет повышения значений рН₂₅ в двухфазных средах и выравнивания рН₂₅ во всех потоках парового и конденсатно-питательного тракта при дозировании этаноламина в сравнении с ГАВР:

- в продувочной воде ПГ с 8,7 до 9,41;
- в питательной воде с 8,8 до 9,13;
- в сепарате СПП с 8,5 до 9,5;
- в конденсате греющих паров ПВД с 8,7 до 9,15;
- в турбинном конденсате с 8,64 до 9,01.

По эксплуатационным данным при ведении ГАВР концентрация железа в сепарате СПП составляла $\sim 8,9$ мкг/дм³. При дозировании ЭТА концентрация железа в этом потоке снизилась до уровня менее 5 мкг/дм³ [2].

Таким образом, применение ЭТА для корректировки ВХР второго контура АЭС с реакторами ВВЭР позволяет существенно снизить скорость коррозии конструкционных материалов, что обеспечивает надежность и бесперебойность работы оборудования.

Библиографический список

1. **Тяпков В.Ф.**, Ерпылева С.Ф. Водно-химический режим II контура АЭС с водородным энергетическим реактором // Теплоэнергетика. 2017. №5. С. 48-55.
2. **Тяпков В.Ф.**, Ерпылева С.Ф., Быкова В.В. Внедрение водно-химического режима II контура с дозированием органических аминов на АЭС с ВВЭР-1000 // Теплоэнергетика. 2009. №5. С. 13-19.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Для предотвращения коррозии и накипеобразования на внутренних поверхностях нагрева барабанных котлов ведется водно-химический режим (ВХР). На большинстве ТЭЦ с барабанными котлами используется фосфатирование. Фосфатирование заключается в образование соединений, которые кристаллизуются в толще щелочной котловой воды в виде шлама и в значительной степени удаляются из котла. Фосфатный режим не устраняет железнооксидного и медного накипеобразования, вызывает железофосфатное накипеобразование, отложения цинка и магния.

В настоящее время на ТЭС с барабанными котлами растёт популярность использования пленкообразующих аминов марки HELAMIN в качестве замены режима фосфатирования.

Торговая марка HELAMIN объединяет более 20 марок ингибиторов коррозии и отложений, представляющие собой смесь алифатических моно- и полиаминов различной степени летучести. Полиамины, обладая мощным эффектом ПАВ, образуют на металлических поверхностях оборудования защитную гидрофобную пленку, препятствующую контакту металла стальных и медьсодержащих сплавов с агрессивной средой. Помимо антикоррозионного действия полиаминная пленка предотвращает нарастание кристаллов накипеобразования на поверхностях металла, в особенности в областях напряженного теплообмена.

Дозирование реагента необходимо в весьма малых количествах и практически не зависит от концентраций в котловой воде окиси углерода и растворенного кислорода.

Использование HELAMIN предполагает более легкое выведение из системы флокулированных кристалла, нежелательных примесей, улучшение теплопередачи как на нагревательных, так и на конденсационных поверхностях.

Библиографический список

1. **Васильева М.В.** Зарубежный опыт обеспечения надежности электроснабжения // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2013. №4 (25). С 144-149.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ПРЯМОТОЧНЫХ КОТЛОВ

Надежность, бесперебойность и качество работы станции зависит от состояния качества поверхностей нагрева. Для предотвращения коррозии и накипи образования на станции должен поддерживаться соответствующий водно-химический режим (ВХР). Однако, не смотря на грамотную эксплуатацию, на практике в условиях устаревшего оборудования, даже полное соблюдение норм ВХР не позволяет достичь расчетных значений надежности работы энергоблоков. И даже при наличии хорошей водоподготовки и строгого контроля за качеством конденсата накипь и отложения будут образовываться. Накипь обладает низкой теплопроводностью, что снижает полезное использование тепла при горении топлива. Для удаления накипи применяют эксплуатационные химические очистки (ХО) котлов.

В табл. 1 приведено предельно допустимое количество отложений на поверхностях нагрева согласно «Правила технической эксплуатации электрических станций и их сетей РФ».

Таблица 1 - Предельно допустимое количество отложений

Мощность	Удельная загрязненность, г/м ²	Толщина отложений, мм
4–10 МПа	до 800	0,3-0,4
10–15,5 МПа	до 600	0,2–0,3
СКД	менее 200	0,1

При достижении предельно допустимых количеств отложений решается вопрос о проведении химической очистки. Выбор схемы и технологии эксплуатационной очистки котла определяется длительностью простоя блока, межпромывочного периода, загрязненностью поверхностей нагрева и имеющегося на электростанции оборудования для проведения очисток.

Основным фактором для выбора реагентов для химической очистки является количество и состав отложений, а также состав металла поверхностей нагрева. Основными реагентами при химической очистке могут быть: минеральные или органические кислоты, комплексоны, щелочи, либо препараты, представляющие собой смесь вышеуказанных веществ.

Библиографический список

1. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и их сетей РФ.

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

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИХРЕВОГО РЕАКТОРА

Для получения обессоленной воды на водоподготовительной установке (ВПУ) ТЭС используют мембранные методы очистки и, прежде всего обратный осмос. За рубежом в таких схемах обессоливания находят применение вихревые реакторы [1], в которых вода обрабатывается гашёной известью в присутствии иницилирующей затравки (например, молотого известняка) с отделением образующегося шлама в виде гранул размером 0,5–1,5 мм. Эти аппараты используются при предварительной обработке исходной воды перед установкой обратного осмоса (УОО) с целью уменьшения вероятности образования отложений на поверхности мембран и увеличения степени выхода пермеата. Применяются вихревые реакторы и для умягчения концентрата.

Для выполнения технологического расчёта ВПУ включающей вихревой реактор была разработана его математическая модель.

Исходными данными модели являются показатели качества и расход воды подвергаемой обработке. В основе модели лежат зависимости по расчёту качества декарбонизированной, умягчённой воды после известкования, а также уравнения материального баланса по расходу воды и по отдельным примесям, содержащимся в ней. Уравнение материального баланса по ионам кальция, используемое для определения количества образующегося шлама ($G_{\text{шл}}$, г/ч) имеет вид:

$$C_{\text{эк}}(\text{Ca}^{2+})_{\text{вх}}Q_{\text{вх}} + D_{\text{и}}Q_{\text{вх}} = C_{\text{эк}}(\text{Ca}^{2+})_{\text{вых}}(Q_{\text{вых}} + Q_{\text{прод}}) + G_{\text{шл}}/M_{\text{эк}}(\text{CaCO}_3),$$

где $C_{\text{эк}}(\text{Ca}^{2+})_{\text{вх}}$, $C_{\text{эк}}(\text{Ca}^{2+})_{\text{вых}}$ – эквивалентные концентрации катионов кальция в обрабатываемой и обработанной воде, ммоль(экв)/л; $Q_{\text{вх}}$ – расход воды на входе в вихревой реактор, м³/ч $D_{\text{и}}$ – доза вводимой извести, ммоль(экв)/л; $Q_{\text{прод}}$ – расход продувочной воды, м³/ч.

Проверка адекватности разработанной математической модели проводилась путём сопоставления результатов расчёта с литературными данными [2].

Библиографический список

1. Юрчевский Е.Б. О применении вихревых реакторов в обратноосмотических схемах обессоливания добавочной воды электростанций / Е.Б. Юрчевский, И.Н. Острцов, Ю.В. Солодьянникова, М.А. Пичугина // Энергосбережение и водоподготовка, № 6, 2015, С. 23–30.
2. Ларин, Б.М. Основы математического моделирования химико-технологических процессов обработки теплоносителя на ТЭС и АЭС: учеб. пособие / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев; ГОУВПО «ИГЭУ». –Иваново, 2007. –292 с.

А.Ю. Логинова, асп.;
рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц., Н.В. Бушуева
(ИГЭУ, г. Иваново)

ТЕХНОЛОГИЯ ЧАСТИЧНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ Н-КАРБОКСИЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Предварительная обработка исходной воды перед установкой обратного осмоса (УОО) на Н-карбоксильных фильтрах (Н^{карб}) довольно часто используется при водоподготовке на ТЭС для предотвращения образования отложений на поверхности мембран [1]. При этом обработке подвергается весь поток очищаемой воды. Такое мероприятие требует значительных расходов серной кислоты на регенерацию катионита, что приводит к ухудшению экологических показателей ВПУ.

С целью снижения расхода кислоты и уменьшения количества солей, сбрасываемых со стоками предлагается применять (при наличии такой возможности), умягчение только части исходной воды на Н-карбоксильном фильтре (рис. 1). При этом в воде после смешения обработанной и осветленной вод индексы Ланжелье не должно превышать допустимого значения [1].

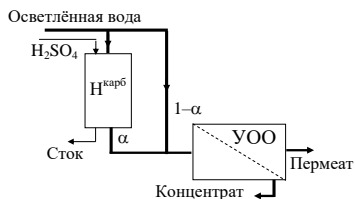


Рис. 1. Технологическая схема умягчения части

Минимально допустимую долю воды, которую нужно обработать на Н-карбоксильном фильтре может быть определено, как

$$\alpha = \frac{LSI_{\text{осв}} - LSI_{\text{доп}}}{LSI_{\text{осв}} - LSI_{\text{ум}}},$$

где $LSI_{\text{осв}}$, $LSI_{\text{ум}}$ – индекс Ланжелье в осветленной воде перед УОО и воде после Н-карбоксильного фильтра [1]; $LSI_{\text{доп}}$ – допустимое значение индекса Ланжелье с учетом гидравлического КПД УОО.

Выполненные многовариантные расчеты показали, что при обработке на Н-карбоксильном фильтре части потока исходной воды перед УОО, позволяет существенно снизить расход кислоты на регенерацию, а также уменьшить объем стоков и количество солей, сбрасываемых с ними.

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 имени В.И. Ленина». –Иваново, 2017. –144 с.

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

РАССЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА

В последнее время большое внимание уделяется малореагентным методам водоподготовки, и, прежде всего мембранным технологиям [1]. Некоторые новые водоподготовительные установки (ВПУ) на ТЭС и АЭС основаны на применении обратного осмоса для деминерализации воды. Использование этого метода даёт возможность извлекать на одной ступени очистки до 96–98 % солей, что близко к эффективности одной ступени ионного обмена.

Вводимые в эксплуатацию установки обратного осмоса (УОО) в основном содержат обратноосмотические элементы (ООЭ) зарубежного производства. Эти элементы необходимы не только при монтаже, но и при замене. Средний срок их службы составляет обычно от 3 до 5 лет, но при нарушении требований эксплуатации он может сильно сократиться. В настоящее время остро стоит вопрос импортозамещения – применение в УОО элементов отечественного производства.

Прежде чем проводить промышленные испытания необходимо провести технологический расчёт УОО с учетом замены элементов на отечественные, подобрав аналоги, в связи с тем, что каждый производитель выпускает свои, не идентичные с другими производителями мембраны и ООЭ.

Для условий ВПУ Ленинградской АЭС-2 был выполнен технологический расчёт УОО предусматривающий применение ООЭ компании «РМ Нанотех» (г. Владимир). В качестве инструмента для расчёта УОО была использована компьютерная программа «NanotechPRO» (разработчик АО «РМ Нанотех») [2]. Анализ полученных результатов показал возможность замены ООЭ марки «FilmTec» фирмы Dow Chemical на элементы марки «Нанотех» при сохранении основных эксплуатационных характеристик установки.

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 имени В.И. Ленина». –Иваново, 2017. –144 с.
2. **Бушуев Е.Н.** Разработка и компьютерная реализация методик расчёта систем вододобработки на ТЭС и АЭС: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева; Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина. – Иваново: 2021. –148 с.

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

АНАЛИЗ СХЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ЖЁСТКОГО СТОКА НА УСТАНОВКЕ НАНОФИЛЬТРАЦИИ

Для получения обессоленной воды на водоподготовительной установке (ВПУ) ТЭС часто используется метод обратного осмоса. Для предотвращения образования отложений катионов жёсткости на поверхности мембран применяется предварительное умягчение исходной воды перед установкой обратного осмоса (УОО) на Na-катионитных фильтрах [1]. Для регенерации катионита, находящегося в этих фильтрах требуется большой расход товарной поваренной соли. Образующийся после регенерации жёсткий сток (ЖС) направляется на сброс, существенно ухудшая экологические показатели ВПУ.

В работе [2] представлена технология утилизации ЖС, суть которой состоит в следующем (рис. 1). Отработанный регенерационный раствор после регенерации Na-катионитных фильтров, направляется на установку нанофильтрации (УНФ).

При обработке этого раствора основная часть катионов жёсткости и частично катионов Na^+ переходит в концентрат и направляется на сброс. В полученный на УНФ пермеат добавляется товарная поваренная соль для получения раствора требуемой концентрации для регенерации фильтра. На основе разработанной методики по расчёту этой технологии, выполнены многовариантные расчеты, анализ которых показал, что повторное использование обработанного на УНФ жёсткого стока приводит к значительному (на 20–40 %) уменьшению потребности в товарном реагенте и повышению экологических показателей ВПУ.

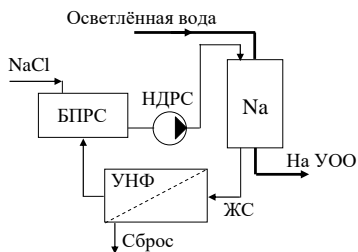


Рисунок 1 - Технологическая схема утилизации жёсткого стока и получения из него регенерационного раствора: БПРС – бак подготовки регенерационного раствора поваренной соли; НДРС – насос-дозатор раствора соли

Библиографический список

1. Загреддинов, И.Ш. Ресурсосберегающие и энергоэффективные схемы в промышленной водоподготовке / И.Ш. Загреддинов [и др.] // НРЭ. №10, 2009. С.27–39.
2. 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 имени В.И. Ленина». –Иваново, 2017. –144 с.

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

АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЕЙ АКТИФЛО

Важной стадией водоподготовки на ТЭС и АЭС является предочистка природной воды, которая осуществляется в основном, методами реагентного осаждения: коагуляцией, известкованием и магниезальным обескремниванием. Традиционно эти процессы совмещают и проводятся в одном аппарате – осветлителе с взвешенным слоем.

Перспективным аппаратом для проведения осветления природной воды является осветлитель Активфло (Actiflo) (разработчик компания Veolia Water Technologies) [1]. Такой осветлитель включает ряд отсеков для обработки поверхностной воды, а также для повышения эффективности коагуляции применяется зернистая присадка к обрабатываемой воде – микропесок. Основными преимуществами осветлителя Активфло являются: незначительный размеры установки; эксплуатационная стабильность (резкие колебания качества и количества исходной воды не оказывают влияния на эффективность очистки); возможность полной автоматизации и мониторинга процесса; высокая эффективность очистки; не требуется подогрев исходной воды при режиме чистой коагуляции; короткое время выхода на режим (меньше 10 минут) и т.д.

Анализ опыта эксплуатации осветлителей с технологией Активфло показал существование ряд проблем. При недостаточной производительности шламовых насосов возникает неэффективное разделение смеси шлам/песок в гидроциклонах. В ходе эксплуатации наблюдается интенсивное истирание внутренней части гидроциклона частичкам микропеска, что требует замен гидроциклонов. Вынос частиц шлама в ламельном отсеке может быть вызван слишком быстрым перемешиванием воды в камере созревания, и вследствие некачественного процесса хлопьеобразования, что влечет за собой вынос легких частиц через ламели. Необходим постоянный контроль показателей рН исходной воды и мутности осветленной воды, т.к. осветлители Активфло работают в узком диапазоне рН, и при незначительном изменении данного показателя в исходной воде, качество осветляемой воды ухудшается.

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 имени В.И. Ленина». –Иваново, 2017. –144 с.

*А.В. Иванова, студ.;
рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доц.; Н.Н. Ярунина, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Выксунский металлургический завод (АО «ВМЗ») выпускает широкий спектр трубной продукции для строительства нефтегазопроводов, водопроводов, систем отопления, строительства и других отраслей. Черная металлургия является одним из крупнейших потребителей воды. В настоящее время на ее долю приходится до 15 % общего объема промышленного водопотребления. Вода расходуется на охлаждение продукта, печей и машин, на очистку газов, обработку и отделку металла, гидравлическую транспортировку и на прочие нужды [1].

Безвозвратные потери (испарение, каплеунос в системах оборотного водоснабжения, приготовление химически очищенной воды и т.д.) составляют 6-8 %. Остальная вода в виде стоков возвращается в водоемы. Около 60-70 % сточных вод относятся к «условно-чистым» стокам и 30-40 % загрязнены различными примесями и вредными соединениями.

Например, при сбросе загрязненных сточных вод металлургического завода в водоеме повышается количество взвешенных частиц, значительная часть которых осаждается вблизи места спуска, повышается температура воды, ухудшается кислородный режим, образуется маслянистая пленка на поверхности воды. Это приводит к гибели водных организмов и нарушению естественных процессов самоочищения водоемов. Поэтому для металлургического производства необходимо применение эффективных систем очистки сточных вод.

На АО «ВМЗ» успешно эксплуатируется система очистки сточных вод в состав которой входят: узел флотационной очистки, узел приготовления растворов реагента, узел фильтровально-адсорбционный, узел обезвоживания осадка, узел возврата очищенной воды в производство.

Применение таких очистных сооружений позволяет существенно сократить содержание загрязняющих веществ в сточной воде. Эффективность очистки по БПК составляет более 40 %, по взвешенным веществам примерно 60 %, по ХПК более 30 %, по железу 25 % и практически полностью очищать от нефтепродуктов.

Библиографический список

1. **Большина Е.П.** Экология металлургического производства: Курс лекций. – Ново-троицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. – 155 с.

*А.В. Охлопков, В.Д. Битней
(ПАО «Мосэнерго», г. Москва)*

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЭНЕРГЕТИКЕ

В соответствии с действующим законодательством РФ все водные объекты на территории страны подлежат защите от загрязнения. В соответствии с постановлением Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 с 1 января 2020 года стимулирующие коэффициенты подлежат пятикратному увеличению, что может привести к значительному росту затрат на оплату сбросов.

Одними из основных загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах ТЭЦ-26, являются нефтепродукты, медь, цинк, алюминий, железо, сульфаты и хлориды. Введение в резервуары биопрепарата серии Multibac обеспечивает интенсивный прирост биомассы системы при очистке сточных вод. Испытания препарата осуществлялись на шламоотвале №1 ТЭЦ-26 в период с 08.08.19 по 06.09.19. Препарат представлял собой высококонцентрированную жидкую смесь из штаммов аэробных и анаэробных, фотосинтетических и хемосинтетических микроорганизмов, способных разложить широкий спектр органических соединений.

Уже через 1,5 месяца с начала проведения первых испытаний было получено заметное осветление и повышение прозрачности шламовых вод. Поверхностная пленка нефтепродуктов подверглась значительному разложению. Визуально диагностируются качественные изменения битуминизированных нефтепродуктов, покрывающих откосы ШО – заметно осветление и разделение на отдельные фракции.

Полученный опыт показал эффективность применения комплекса биопрепаратов для достижения нормативных показателей качества промышленных сточных вод. В короткий срок удалось наладить процесс очистки стоков, стабилизировать процессы нитрификации, усилить деградацию углеводов, оздоровить биомассу активного ила. Очевидно, что данная технология будет эффективно работать при аварийных сбросах загрязняющих веществ для поддержания концентрации, разнообразия и окисляющей способности активного ила.

Визуальная оценка состояния шламоотвала и результаты количественного химического анализа в 2019 г. свидетельствовали о слишком коротком периоде дозирования. С этой целью было принято решение о пролонгации исследований по доочистке сточных вод от нефтепродуктов и тяжёлых металлов микробно-ферментным препаратом с адаптацией технологии применения на ТЭЦ-26.

*А.Н. Вивчар, В.А. Сердюков, О.Ю. Сигитов
(ПАО «Мосэнерго», г. Москва)*

ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ

В конце 2014 года в Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» были внесены изменения, которыми было установлено, что инвентаризация выбросов загрязняющих веществ в атмосферу может проводиться инструментальными и расчетными методами, при этом инструментальные методы имеют приоритет перед расчетными. Например, для расчета выбросов оксидов серы при сжигании топлив широко используется расчетный метод, который основан на гипотезе, что вся содержащаяся в топливе сера при сжигании окисляется и превращается в сернистый ангидрид. В качестве аргументов в расчетную формулу входят масса топлива и содержание в нем серы, значения которых определяются прямыми измерениями. В этом и заключается коллизия: с одной стороны, использование одних измеряемых аргументов – массы топлива и содержания в нем серы – является признаком расчетной методики, а применение других измеряемых аргументов – площади сечения газохода, скорости газов и концентрации загрязняющего вещества – признаком инструментальной методики.

В 2020-2021 гг. проведена масштабная работа по сравнению результатов определения выбросов от котельного оборудования инструментальными и расчетными методами. По результатам сравнения были получены следующие относительные разности инструментальных и расчетных значений:

- выбросы оксидов азота при сжигании газа – 2,5 %, мазута – 11,2 %;
- выбросы оксида углерода при сжигании газа – 1,6%, мазута – 13,1 %;
- выбросы диоксида серы при сжигании мазута или смеси газа и мазута – 16,5 %;
- выбросы твердых частиц при сжигании мазута или угля – 7,7 % и 9,5 % при использовании двух различных расчетных формул.

В результате проведенных работ было показано, что расчетные методики, применяемые в компании, безусловно соответствуют нормативным требованиям и имеют значительно более низкую погрешность, чем допускается для инструментальных методов, а также неоднозначность разделения методик определения выбросов.

СЕКЦИЯ 3

ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

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

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

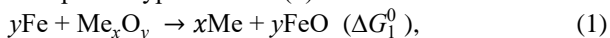
И.А. Яшин, студ.; рук. Х.В. Гибадуллина, к.х.н
(КГЭУ, г. Казань)

О ПРИМЕНЕНИИ НЕКОТОРЫХ ОКСИДОВ *d*- И *p*-ЭЛЕМЕНТОВ В СОСТАВЕ ОКСИДОВ СЦЕПЛЕНИЯ

Одним из наиболее надежных и эффективных инструментов для изучения возможности протекания химических процессов является термодинамический метод, который позволяет сделать достоверный вывод о термодинамической вероятности осуществления процесса [1].

Проведен расчет изменения энергии Гиббса ΔG^0 для оценки возможности применения оксидов *d*- и *p*-элементов в качестве потенциальных оксидов сцепления в составе защитных покрытий от коррозии.

При покрытии железа расплавом эмали, сцепляющее действие любого оксида можно выразить уравнением (1):



где Me – любой металл, а Me_xO_y – его оксид.

Из данных расчета следует, что отрицательные значения ΔG имеют оксиды элементов: Cd, Bi, As, Tc, Pt, Mo, Pb, Sb, Ag, Cu. Следовательно, рассматриваемая реакция (1) принципиально возможна. Однако, при нанесении эмалей одновременно с реакцией (1) возможно протекание реакции окисления оксида железа (2+) до оксида железа (3+) (2):

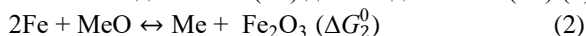


Таблица - Данные термодинамического расчета ΔG^0

оксид	ΔG^0 , кДж/моль	оксид	ΔG^0 , кДж/моль	оксид	ΔG^0 , кДж/моль
Ag ₂ O	-241	CdO	-24	GeO ₂	~ 0
CuO	-124	TcO ₂	-123	SnO	~ 0
PtO ₂	-406	PbO ₂	-286	MoO ₃	416
Bi ₂ O ₃	-262	As ₂ O ₃	26	WO ₃	512

Если равновесие реакции (2) будет смещено вправо, то в эмали покрытия пройдет процесс непосредственного восстановления металла. Поэтому, должны соблюдаться условия: $\Delta G_1^0 \leq 0$; $\Delta G_2^0 \geq 0$ и выполняться неравенство (3):

$$\Delta G^0(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 2\Delta G^0(\text{FeO}) \geq \Delta G^0(\text{MeO}) \quad (3)$$

Оба условия выполняются для оксидов только нескольких элементов: Cd, Ge, Sn, As, Mo и W, именно они могут быть потенциальными оксидами сцепления в дополнении к широко применяемым оксидам.

Библиографический список

1. Лидин Р.А. Справочник по неорганической химии. Константы неорганических веществ / Р.А. Лидин, Л.Л. Андреева, В.А. Молочков. М.: Химия, 1987. 320 с.

*Г.В. Чикунов, студ.; Ф.Р. Гайнутдинов, инж.;
рук. Д.Ф. Гайнутдинова, к.х.н, доц.
(КГЭУ, Казань)*

ВОДОРОДНЫЕ АЗС - РЕЖИМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Декарбонизация транспорта требует внедрения транспортных средств с нулевыми выбросами, например, транспорт на водородных топливных элементах [1]. Для функционирования транспорта на водородном топливе, необходимо решать следующие экономико-социальные задачи: развитие технологий добычи водорода путем конверсии, пиролиза метана, электролиза; изучение вопросов доставки водорода до водородных АЗС, компоновка и создание самих станций; стимулирование спроса на топливные элементы на водороде в российском транспорте, принятие законов, регулирующих безопасность водородной энергетики.

В настоящее время в России не открыто ни одной водородной заправочной станции. Первые водородные АЗС планируют открыть к 2025 г. В городе Черноголовка Московской области собрана первая экспериментальная водородная заправочная станция, рассчитанная на 14 кг водорода в день, изучается экономическая целесообразность применения водородного топлива (примерно 250 руб. на 100 км, что в два раза дешевле использования бензина).

Прорабатываются вопросы компоновки и режима функционирования заправок на водороде из природного газа. Производство водорода из природного газа прямо на месте АЗС, одно из перспективных направлений водородной энергетики.

Водородные станции должны разрабатываться и комплектоваться под конкретного клиента и его потребности. Существует три класса типового исполнения установок (малого, среднего, большого класса), которые, могут быть дополнены различными опциями. Таким образом, изучение оптимальных технических характеристик компонентов АЗС – устройств для производств водорода, компрессора, контейнера для хранения водорода и других модулей заправок, является актуальной задачей в области водородной энергетики.

Библиографический список

1. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Стриелковски В. Инновации в области хранения энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 4. С. 33–40.

*А.Д. Шарафутдинов, студ.;
рук. Д.Ф. Гайнутдинова, к.х.н, доц.
(КГЭУ, Казань)*

ВОДОРОБУСЫ – НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Водоробусы – экологически чистые машины. На сегодняшний день многие технологические и экономические вопросы, касающиеся использования водородного транспорта, остаются не решенными. В отдаленной перспективе, решение проблем получения, транспортировки и хранения чистого водорода в достаточном объеме, сделает водородный транспорт эффективным [1].

Мировой опыт использования водоробусов различных производителей Toyota Sora (Япония), Van Hool A330 Fuel Cell (Бельгия), Geely Yuan Cheng F12 (Китай), Wrightbus (Великобритания), Solaris Urbino 12 Hydrogen (Польша) показывает недостатки и преимущества их применения в общественном транспорте. Главным недостатком водоробусов является дороговизна (цена одного водоробуса, как 10 обычных автобусов) и низкая эффективность, более половины энергии при получении водорода для автобусов тратится впустую, что делает топливо менее экологичным по сравнению с батареями в электротранспорте.

В России серийный выпуск водоробусов КАМАЗ-6290 на основе электробуса КАМАЗ-6282 возможен при государственном субсидировании и поддержке. Для будущего движения пассажирских водородных автобусов на нескольких маршрутах потребуется совершенно новая инфраструктура заправок и распределительная сеть.

Изучение технических, технологических, организационных, финансовых проблем общественного транспорта на водороде будущего требует детального рассмотрения.

В целом технологии производства водоробуса требуют доработки, а применение импортных комплектующих, отодвигает создание парка водоробусов на неопределенный срок (КАМАЗ включен в санкционный список зарубежными странами). Тем не менее, преобразование системы общественного транспорта на экологически чистый парк машин, останется актуальной задачей водородной энергетики.

Библиографический список

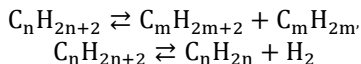
1. Плетнев М.А., Копысов А.Н. Социально-экономические проблемы развития водородной энергетики ИЗВУЗ. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 36-45.

*А.В. Печенкин, асп.; рук. А.А. Чичиров, д.х.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

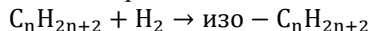
Все больше внимания уделяется вопросам декарбонизации производств, уменьшение углеродного следа.

Рассмотрим на примере нефтеперерабатывающих заводов, где одним из ключевых этапов переработки является процесс крекинга нефти. Суть этого метода в том, что молекулы нефти расщепляются и происходит образование углеводородов с меньшим значением молекулярных масс и меньшим числом атомов углерода в составе самих молекул.



Наиболее качественным процессом является гидрокрекинг. Суть этого метода в том, что он производится в среде водорода при высокой температуре и в присутствии катализаторов. Важнейшая особенность процесса заключается в том, что наряду с реакцией распада тяжелых углеводородов на более легкие (на уровне молекул), как в процессе крекинга, происходит реакция гидрирования образовавшихся продуктов распада. В процессе гидрокрекинга образуются углеводородный (топливный) газ. Основная реакция для гидрокрекинга является:

- гидрирование алканов сырья,



На данный момент, полученный газ добавляют к природному газу и по газопроводу направляют на ТЭС для сжигания в газовых турбинах или энергетических котлах. Но содержание водорода в такой смеси газов высокое, это приводит к разрушению сварных швов газопровода. Рассматривается возможность использования этого водорода в твердооксидных топливных элементах с целью получения электрической энергии.

Библиографический список

1. Мухленов И.П., Тамбовцева В.Д., Горштейн А.Е. Основы химической технологии. М., 1968 244-248 с.
2. **Общая** химическая технология [Электронный ресурс] URL:https://elearning.sumdu.edu.ua/free_content/lectured:c6836bcb008fd2a83cedd18e036f51d16df9ce42/latest/258330/index.html (13.02.2022)

*Р. И. Разакова, асп.; рук. Д.Ф. Гайнутдинова, к.х.н, доцент
(КГЭУ, г. Казань)*

ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ

В данной работе рассмотрены перспективы электрохимического производства водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, указаны основные технические задачи и пути совершенствования технологии электролитического получения водорода.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р утвержден план мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 г.

Россия в ближайшее время должна войти в число мировых лидеров по производству водорода и его экспорту. В Татарстане успешно реализуются нефтеперерабатывающие и нефтехимические сектора промышленности.

Производство водорода в Татарстане осуществляется на комбинированной установке гидрокрекинга комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов «ТАНЕКО» в Нижнекамске. Проектная мощность установки по сырью составляет 100 тысяч тонн в год.

Недостатками получения водорода из природных топлив являются выбросы CO_2 , а также наличие примесей CO и CO_2 в конечном продукте. По этим причинам получение водорода из природных топлив рассматривается как переходная технология от сложившейся инфраструктуры энергорынка к водородной экономике будущего. В перспективе эта технология будет вытесняться другими.

Электролитический водород является доступным, но дорогим продуктом. В промышленных и опытно-промышленных установках реализован КПД электролизера 70-80 %. Современный уровень техники электрохимического получения водорода, делает метод достаточно экономичным для производства небольших количеств особо чистого водорода.

Для того что бы электролиз воды стал конкурентоспособным процессом и удовлетворял крупных потребителей водорода необходимо совершенствовать технологию электролиза и решать следующие технические и экономические задачи: снижение удельных затрат электрической энергии и увеличение коэффициента полезного использования, затраченной на электролитическое разложение воды; увеличение единичной мощности электролизеров и повышение надежности их работы.

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

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В последнее время нанотехнологии стали стратегическим индустриальным направлением, а к материалам в наносостоянии проявляется огромный интерес современными учёными по всему миру.

Рассмотрим изобретение, в создании которого заложены нанотехнологии. Нанотрубки являются элементом, на базе которого можно создавать машиностроительные, энергетические устройства. Они заполняются молекулярным водородом под очень высоким давлением, а в их структуре присутствуют трубчатые образования, которые в теории могут выдерживать огромный вес. С их помощью можно изготовить, например, протез, который будет сильнее человеческой мышцы в 85 раз. Также, с помощью углеродных нанотрубок можно усовершенствовать солнечные батареи. Благодаря использованию таких нанотрубок, у солнечных батарей увеличивается выход энергии и уменьшается тепловыделение. Со временем, переход к нанометрическим структурам позволил увеличить токонесущую способность сверхпроводников в несколько раз, а развивающиеся нанотехнологии позволяют ученым решать проблемы, связанные с транспортировкой и хранением водорода.

В обозримом будущем потребление энергии будет возрастать, а переход к альтернативным возобновляемым источникам энергии очевиден – его можно будет осуществить с помощью нанотехнологий. Так, ГОУ ВПО «Московский Энергетический Институт» разработал технологию упрочнения поверхностей рабочего оборудования, благодаря формированию нанокомпозитных покрытий. Таким образом, нанотехнологии имеют огромный потенциал во всех сферах энергетики, способствуя повышению эффективности и экологичности.

Библиографический список

1. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: «КомКнига», 2005. 185 с.

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

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Водород – довольно легко добываемый газ на нашей планете. Одним из самых простых является метод добычи водорода электролизом. Данный метод практически не распространён в нашей стране, хотя мог бы быть на одном из первых мест по добыче энергии, ведь водород считается одним из наиболее перспективных видов топлива, так как при его сгорании выделяется примерно 140 МДж/кг [1], что в несколько раз превышает удельную теплоту сгорания углеводородных топлив, например, 50 МДж/кг для метана. Это даёт большую практическую ценность, так как энергии выделяется больше, химических отходов при сжигании образуется меньше и процесс добычи достаточно прост.

Такой способ добычи энергии имеет большое количество перспектив в будущем, ведь он будет заменять собой практически все углеводородные топлива, которые в настоящее время всё ещё не вышли из применения на большинстве электростанций нашей страны.

Метод электролиза можно провести даже самому, в домашних условиях. Для этого может понадобиться небольшая ёмкость, в которой налит проводящий водный электролит. Им может послужить смесь воды, и, допустим, гидроксид калия (KOH), который можно приобрести в любом специализированном интернет-магазине. В этот электролит погружают два электрода. Анод и катод проводят постоянный ток и на них образуются газы водород и кислород [2].

Хотя этот метод добычи водорода уже достиг высокого уровня технического развития, его до сих пор не внедряют на электростанции и используют углеводородное топливо, что очень пагубно сказывается на экологическом развитии страны и приносит меньше энергии, чем сжигание водорода.

В первую очередь, считается, что водород будет преобразовываться непосредственно в электрическую энергию, из чего мы делаем вывод, что он будет распространён как топливный элемент и приносить более высокую эффективность, чем при сжигании в обычных тепловых электростанциях.

Библиографический список

1. **Приходьков К.В.** Исследование сгорания водородно-воздушных смесей, 2013.
2. **Григорьев С. А., Халиуллин М. М., Кулешов Н. В., Фатеев В. Н.** Электролиз воды в системе с твёрдым полимерным электролитом/ Электрохимия, т. 37, № 8, 2001. - С. 953-957.

*Н.И. Жирунова, студ., рук. Л.Н Хрипкина, к.х.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ КАЛИНИНСКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

Калининская АЭС по праву считается крупнейшим производителем электроэнергии в Центральной части России.

Одним из источников водоснабжения Калининской АЭС являются водохранилище Калининской АЭС (оз. Удомля и оз. Песьво). Станция состоит из четырех энергоблоков с реакторами типа ВВЭР-1000 электрической мощностью 1000 МВт.

В современных АЭС используется двухконтурная система: первый контур, в котором циркулирует вода из реактора, — замкнутый, вода в нем циркулирует по кругу с помощью насосов. Тепло из первого контура передается воде второго контура, которая моментально закипает, превращается в пар и вращает турбину.

Химический состав воды в водоемах-охладителях Калининской АЭС практически однороден по большинству показателей. Воды озер относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, по степени минерализации являются пресными, по величинам жесткости – мягкими, по значениям pH – слабощелочными и щелочными.

В работе было проведено исследование физико-химических показателей образца воды второго энергоблока, взятой после второго контура в ноябре 2021 года.

Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Физические характеристики образца воды

Показатель	Величина
Внешний вид	Желтоватый оттенок, запах неопределенный, примеси при отстаивании
pH	7,897
Электропроводность, мксм/см	330,2
Мутность	Мутная, 27 см
Градус цветности	5

Дальнейшие исследования данного образца воды нацелены на изучение наличия различных ионов и загрязняющих веществ.

Библиографический список:

1. <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/474/474efba9d007eaa98152b86fff3b8445.pdf>

Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.

3. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view>

*А.Г. Кротов, студ.; рук. Н.Н. Ярунина, к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ХИТ – КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ

Вся история развития цивилизации - поиск источников энергии. Это весьма актуально и сегодня. И для получения электричества можно использовать химическую энергию окислительно-восстановительных реакций. Расширяя возможности химических источников тока (ХИТ), был создан аккумулятор – источник тока, который можно перезаряжать и поэтому использовать многократно. Для этого ученые предложили использовать обратимые химические реакции, опираясь на явление электрохимической интеркаляции (обратимое внедрение ионов или молекул в вещества, имеющие слоистую, туннельную или канальную структуру, происходящее под действием электрического тока).

Действие литий-ионного аккумулятора (Li-Ion) основано на способности ионов лития встраиваться в кристаллические решетки определенных материалов (например, графита). Как правило, анодом является соль лития (обычно кобальтит LiCoO_2 или феррофосфат LiFePO_4), катодом — графит, а электролитом — раствор LiBF_4 в смеси этиленкарбоната и диметилкарбоната. В данном типе аккумулятора переносчиком электронов выступает ион лития, встраивающийся в кристаллическую решетку графита или другого анодного материала. При заряде ионы лития, содержащиеся на катоде, начинают движение под действием электрического тока и образуют соединение LiC_6 [1]:



При разряде данный процесс идет в обратную сторону. Процесс интеркаляции/ деинтеркаляции лития происходит одновременно с процессом окисления / восстановления металла. Как правило, данный тип аккумуляторов применяется в сфере мобильных устройств.

Плюсы литий-ионных аккумуляторов:

- отсутствует «эффект памяти» и поэтому появляется возможность заряжать и подзаряжать аккумулятор по мере необходимости;
- высокая ёмкость и небольшая их масса;
- рекордно-низкий уровень саморазряда – не более 5 % в месяц.

Библиографический список

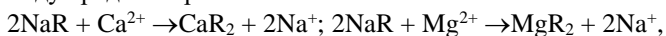
1. **Сербиновский М.Ю.** Литиевые источники тока: конструкции, электроды, материалы, способы изготовления и устройства для изготовления электродов / Рос. гос. ун-т. - Ростов-н/Д: РГУ, 2001.

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

РЕГЕНЕРАЦИЯ ИОНИТА В ФИЛЬТРАХ «БАРЬЕР»

Ионообменные смолы, применяемые в фильтрах для бытового использования «Барьер», используют с целью умягчения питьевой воды избирательного удаления определенных ионов [1].

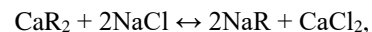
Марки ионообменных смол, используемых в фильтрах «Барьер»: Dowex HCR-S/S, Puresin PC002, Purolite C100E. Они обладают химической стойкостью, осмотической стабильностью и не выделяют в очищаемую воду вредные примеси.



где R-органический радикал.

Определенный во время исследования ресурс сменной кассеты «БАРЬЕР Стандарт» составляет 200 л, что свидетельствует о завышении производителем предельно-пропускной способности фильтра в размере 350 л. Одним из самых доступных способов продления службы фильтра – это регенерация с помощью поваренной соли – хлорида натрия [2].

Процесс регенерации ионообменной смолы можно представить следующими процессами:



Повышение температуры ускоряет диффузию ионов, поэтому рекомендуется нагревать умягчаемую воду и регенерирующий раствор до 35 – 45°C.

Кроме раствора поваренной соли промывку ионообменной смолы проводят кислотой (соляной, лимонной и т.д.) или щелочью. Это необходимо для регенерации специальных ионообменных смол, которые применяются для деминерализации воды.

Регенерацию можно проводить много раз, но после каждого восстановления степень умягчения воды будет снижаться [2]. Когда смола перестанет восстанавливать свои первоначальные обменные свойства, картридж или загрузка фильтра подлежит замене на новый.

Библиографический список

1. **Изменение** физико-химических и технологических характеристик ионообменных материалов в установках кондиционирования природных вод /Славинская Г.В., Куренкова О.В.// Сорбционные и хроматографические процессы. 2013 Т. 13 Вып. 3
2. **Алитдинова**, Светлана Юрьевна, Разработка безопасного способа применения ионообменных смол при водоподготовке в пищевой промышленности. Дисс. На соис. К.х.н., 2005

*Д.И. Круглов, студ.; рук. Н.Г. Иванова, к.х.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ХИМИЯ В ПОИСКАХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Энергия бывает возобновляемой (альтернативной) и невозобновляемой (традиционной). Альтернативные источники энергии – это обычные природные явления, неисчерпаемые ресурсы, которые вырабатываются естественным образом. Такая энергия ещё называется регенеративной или «зелёной».

Цель данной работы – найти замену невозобновляемым источникам энергии (газ, нефть, уголь) при помощи альтернативных источников энергии, которые может предложить нам химия.

Данная проблема является актуальной, использование связано с выбросом углекислого газа, парниковым эффектом и глобальным потеплением. Человечество получает энергию, в основном за счёт сжигания ископаемого топлива и работы атомных электростанций. Альтернативная энергетика – это методы, которые отдают энергию более экологичным способом и приносят меньше вреда. Она нужна не только для промышленных целей, но и в простых домах для отопления, горячей воды, освещения, работы электроники.

Поводом для проведения исследований послужило подготовку к выбранной профессии провести данное исследование.

Перед началом исследований была выдвинута гипотеза, что в настоящее время можно выделить множество причин к переходу на АИЭ; это увеличение загрязнения окружающей среды, нарушение теплового баланса атмосферы, которое приводит к глобальному изменению климата, это и дефицит энергии, и ограниченность топливных ресурсов с всё нарастающей остротой показывают неизбежность поиска новых источников энергии.

Исследования проводились на базе разных интернет источников.

Химические и органолептические анализы выполнялись по методикам, изложенным в литературе и используемым в химических лабораториях.

По результатам работы сделаны выводы о переход на АИЭ позволит сохранить тепловые ресурсы для переработки в химической и других отраслях промышленности.

Библиографический список

1. <https://nplus1.ru/material/2017/11/27/fuel-cells>

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

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА УТЕЧКИ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММЫ ARDUINO В ОБЫЧНОЙ ЖИЗНИ И НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

В современном мире неотъемлемой частью нашей жизни стало использование природного газа. Но вместе с этим появились и новые проблемы. Такие как, утечки газа в домах и на предприятиях. Причин утечек может быть много: неправильное использование оборудования, некачественное оборудование, отверстия в подаче газа и другие. Поэтому важно иметь датчики газа, которые предупредят об утечках.

Датчик представляет собой небольшое компактное устройство. Аппарат оснащен анализатором, который реагирует на изменение концентрации определенных газов. Для измерения количества газа в среде применяются разные сенсоры.

Принцип работы датчика можно разделить на две части.

Первая – фиксация критической загазованности в помещении.

Вторая часть заключается в том, чтобы информировать владельца об обнаружении критической концентрации газа.

Датчик работает таким образом, что при превышении концентрации вредных веществ в помещении анализатор газов и различные сенсоры мгновенно реагируют на это, и происходит подача светозвукового сигнала. Также есть устройства, отправляющие владельцу смс об утечке.

Таким образом, использование датчика газа в бытовой жизни и на различных предприятиях помогает вовремя устранить причину утечки, исправить неполадки в оборудовании и не допустить несчастных случаев отравления или гибели людей.

Библиографический список

1. Как работает датчик утечки газа с клапаном. <https://medwogonok.ru/kak-rabotaet-datchik-utechki-gaza-s-klapanom/>
2. Как устроены и работают датчики утечки газа. <http://elektrik.info/device/1574-kak-ustroeny-i-rabotayut-datchiki-utechki-gaza.html>

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ВЛИЯНИЕ ИХ НА ЭКОЛОГИЮ

Пищевая промышленность старается применять все новые, улучшенные химические добавки для облегчения технологического процесса, продления срока хранения или придания определенной консистенции, вида и качества конечному продукту. При этом отходы от производства попадают в окружающую среду. А как это отражается на экологии и нашем здоровье?

Цель данной работы - изучение вопроса применения пищевых добавок, их влияния на окружающую среду и здоровье человека.

Изучаемая проблема является актуальной, т.к. напрямую связана с экологическими проблемами.

Работа проводилась с использованием различных Интернет-ресурсов. Были проведены исследования, какие пищевые добавки безвредны для окружающей среды, а какие являются опасными.

Экология — естественная наука о взаимодействиях живых организмов между собой и с их средой обитания. Человек является неотъемлемой частью окружающей среды. Поэтому влияние пищевых добавок на человека также отражается на экологии.

В данной работе рассмотрены консерванты – вещества, затрудняющие жизнедеятельность микроорганизмов в пищевых продуктах, замедляющие химическое окисление органических веществ кислородом воздуха, - и их использование в пищевой промышленности. Среди этого класса веществ выявлены опасные, условно опасные и безвредные.

Также в работе рассмотрен ряд эмульгаторов – пищевых добавок, предназначенных для создания однородных эмульсий из несмешивающихся продуктов. Среди этого набора пищевых добавок также были выявлены опасные пищевые добавки и безвредные.

Пользуясь полученными знаниями, можно определить, какие добавки являются вредными, условно вредными и безопасными для экологии и здоровья человека, что позволяет человеку жить на чистой планете и быть при этом здоровым.

СЕКЦИЯ 4

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Председатель –

д.т.н., доцент **Бушуев Е.Н.**

Секретарь –

к.т.н., доцент **Корочкина Е.Е.**

Е.Н. Сабанова, студ.; В.Ю. Наумов, асп.; рук. В.О. Киндра, к.т.н.

(НИУ “МЭИ”, г. Москва)

АНАЛИЗ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ

Увеличение стоимости топлива и ужесточение экологических норм предопределяет важность энергосбережения в различных отраслях промышленности. В частности, возрастает актуальность полезного использования различных низкопотенциальных источников теплоты температура которых не превышает 300-400°С.

Применение энергоустановки, работающей по органическому циклу Ренкина, для производства электроэнергии за счет утилизации энергии низкого потенциала является актуальным решением проблемы. Однако для достижения максимального полезного эффекта важно осуществить многокритериальный выбор низкокипящего теплоносителя. Так, важными факторами являются стоимость, показатели экологической безопасности, энергоэффективность, возможность работы в заданном диапазоне температур, отсутствие воспламеняемости.

По результатам проведенного сравнительного анализа более 30 теплоносителей по перечисленным критериям осуществлена выборка шести наиболее перспективных (табл. 1). Их общей чертой является относительно невысокая стоимость, высокий уровень безопасности (A1), заключающийся в низкой токсичности и воспламеняемости, слабый потенциал к разрушению озонового слоя (ODP) и относительно невысокий вклад в глобальное потепление (GWP).

Таблица 1 - Параметры выбранных рабочих тел

Вещество	R22	R41	R124	R134a	R236ea	CO ₂
T _{крит.} , К	369,3	317,3	395,4	374,2	412,4	304,2
P _{крит.} , МПа	4,99	5,	3,62	4,06	3,50	7,38
T _{разложения} , К	603,15	-	573,15	641,15	-	>1773
Уровень без.	A1	A1	A1	A1	A1	A1
ODP	0,05	0	0,022	0,055	0	0
GWP	1810	2,088	609	1430	1370	1
Цена, кг/руб.	598	900	1900	658	800	50
Эффективность (T ₀ =473,15 К), %	17,29	15,94	16,91	16,69	16,72	14,20

Исследование проведено в НИУ “МЭИ” при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FSWF-2020-0020.

Библиографический список

1. **Douvartzides S., Karmalis I.** Working fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) exhaust heat recovery of an internal combustion engine power plant // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2016. Vol. 161. p. 012087.

*Д.А. Праньков, студ.; рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н., доцент,
О.В. Блинов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОЦЕССОРОВ РЭА

Современная вычислительная радиоэлектронная аппаратура должна справляться с большим количеством задач, которые выполняются одновременно. Для этого используется несколько процессоров и в каждом процессоре может быть несколько ядер. Когда мы используем персональный компьютер и запускаем приложения, то приложения могут использовать не один поток, а два. Поток создается ядрами в процессоре. И чем больше процессоров и ядер в процессоре, тем больше приложений можно использовать одновременно. Поток создаётся активным процессором. Каждый раз когда открывается приложение, оно само создаёт поток, который будет обрабатывать задачи этого конкретного приложения. Поэтому важной задачей становится при выборе персонального компьютера не только тип процессора, но и количество процессоров и количество ядер в каждом процессоре. В наиболее мощных ПК сейчас может использоваться и 6 и 8 процессоров. Но это увеличивает стоимость ПК и тепловыделения от процессоров. Наиболее популярны модели, где имеются 2 или 4 процессора. Это оптимальное сочетание цены и вычислительных возможностей. В связи с минимизацией размеров ПК и увеличением числа вычислительных мощностей, обостряется проблема перегрева ПК.

Данное исследование посвящено оценке влияния количества процессоров в ПК на тепловыделение. Численный эксперимент был осуществлен для процессоров электронных устройств - Intel Core i3, Intel Core i5, Intel Core i7. Для оценки этого фактора была создана твердотельная тепловая модель двух и четырёх процессоров. Расчеты были проведены для процессоров, находящихся на расстоянии 10, 20, 30 и 40 мм друг от друга. Получены графические зависимости изменения температурного поля между процессорами и получена температура флюида над процессорами.

Полученные в результате вычислительного эксперимента графические зависимости изменения температур позволяют определить наиболее оптимальный тип компоновки электронной аппаратуры в зависимости от интенсивности и объёма вычислительных расчётов.

*Д.С. Фирсов, студ.; рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н., доцент,
О.В. Блинов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВ- НЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОЦЕССОРОВ РЭА С ВКЛЮЧЕНИЕМ НАНОЧАСТИЦ ИЗ УГЛЕРОДА

В настоящее время в связи с минимизацией размеров радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) выдвигаются всё более жесткие требования к системам охлаждения. Разрабатываются различные способы охлаждения, которые позволяют при уменьшении размеров системы охлаждения одновременно повышать её эффективность.

В качестве объекта исследования была выбрана материнская плата 8IE533 фирмы Gigabyte. Данная материнская плата имеет форм-фактор ATX (форм-фактор подавляющего большинства современных персональных настольных компьютеров).

Нами был произведен расчет температурного поля радиатора, который используется для охлаждения управляющего процессора, его теплопроводящей поверхности с включением в её структуру наночастиц из углерода. Для моделирования температурного поля кристалла было применено известное аналитическое шар в бесконечном пространстве, основанное на методе преобразования Фурье, приведённое в монографии А.В. Лыкова [1]. Задача моделирования состояла в том, чтобы адаптировать данное решение, с граничными условиями четвертого рода, для расчета наноструктур в форме шара. С этой целью был разработан в пакете прикладных программ Matlab программный алгоритм. Задача формулируется следующим образом: сферическое тело помещается в неограниченную среду, где происходит охлаждение путем теплопроводности. Программа позволяет рассчитать распределение температурного поля внутри сферы и на ее поверхности. При расчетах мы задаем, что материалом сферического тела, с диаметром 10^{-9} метра, является углерод, а среды которая его окружает алюминий. Одновременно с аналитическим решением было произведено моделирование температурного поля сферы в пакете Solid Works. И проведена оценка точности модели.

Библиографический список

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М: Высшая школа, 1967 г. – 600 с.

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

ЭКСЕРГИЯ, ЗАЧЕМ ЕЕ ПРИДУМАЛИ

Термин «эксергия» был введен в 1955 г. Зораном Рантом. Его можно перевести с греческого как извлечение работы, работоспособность и т.п., так как «ex», означает «из», «вне», а «erg(on)» — «работа, сила». Другими словами, это часть энергии вещества (системы), которую можно преобразовать в полезную механическую работу. Ту часть энергии, которую нельзя преобразовать в полезную механическую работу, З. Рант называл анергией (1962 г.).

Эксергией называется максимально возможная полезная работа вещества (системы) при его переходе в состояние равновесия с окружающей средой. В технической термодинамике рассматривается три вида эксергии [1, 2]: эксергия вещества в объеме, эксергия вещества в потоке и эксергия источника теплоты. Кроме этого есть эксергия химических, ядерных процессов и т.п. (например, процесса горения органического топлива).

В данной работе рассматриваются конкретные примеры определения эксергии в различных термодинамических системах и ее графическое представление. Даются расчетные выражения эксергии тела, имеющего температуру и давление, отличные от температуры и давления внешней среды, эксергии потока вещества, движущегося по каналу, эксергии источника теплоты в виде продуктов сгорания органического топлива и эксергии тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) ядерного реактора. На примере эксергетического анализа потерь эксергии ТВЭЛ цикла атомной электрической станции (АЭС) на влажном насыщенном водяном паре доказано преимущество эксергетического метода по сравнению с методом теплового баланса. Результаты этого анализа показывают, что основные потери такой АЭС относятся к необратимости процесса теплообмена в ядерном реакторе, а не к потерям теплоты в конденсаторе паровой турбины, на что указывает метод теплового баланса.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что введение понятия эксергии имеет важное значение как для анализа экономичности теплоэнергетических установок, так и для выбора путей их совершенствования.

Библиографический список

1. **Чухин И.М.** Техническая термодинамика. Часть 2., учебн. пособие. – ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина», 2008, 228 с.
2. **Бродянский В. М.** Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

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

СОЗДАНИЕ ОНЛАЙН-КОНТЕНТА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ФОРМАТА ОБУЧЕНИЯ

В последние два года остро встаёт вопрос организации учебного процесса в дистанционном формате. Необходимо широко внедрять различные средства дистанционного взаимодействия с обучающимися; расширять базу онлайн-контента и тестовых заданий; развивать удаленный доступ контроля знаний обучающихся и многое другое. Реализовать онлайн-формат обучения возможно с применением цифровых инструментов.

Цель данного проекта заключается в обновлении и пополнении электронной базы теоретического материала для организации процесса обучения – проведения семинаров и лекций в удалённой форме, а также обеспечения возможности эффективной самостоятельной подготовки по предоставленным презентациям. Большое внимание уделяется структурированию информации. Облегчить восприятие материала помогают графические изображения, в том числе с использованием эффектов анимации.

На данный момент ведётся работа по дисциплине Тепломассообмен, подготовлены материалы по расчету разных способов переноса тепловой энергии. В качестве основного теоретического источника взято учебное пособие для бакалавров проф. Бухмирова В.В. [1], при подготовке и проведении практической части занятий – справочные материалы [2]. Предложенные идеи осуществляются в программе PowerPoint. Практика показала, что с помощью встроенного редактора анимации данного пакета удобно компоновать информацию, легко отображать рисунки и графики.

В процессе дистанционной формы обучения в осеннем семестре 2021/2022 учебного года вновь созданные презентации апробированы на 8 практических занятиях с обучающимися теплоэнергетического факультета ИГЭУ.

Библиографический список

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.;
2. **Бухмиров В.В., Ракутина Д.В.** Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2017. – 120 с.

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

УВЕЛИЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АЭС НА НАСЫЩЕННОМ ПАРЕ

Основные недостатки цикла АЭС на влажном насыщенном водяном паре [1] вызваны условиями работы ядерного реактора на тепловых нейтронах. Необходимость охлаждения тепловыделяющих элементов только жидкой фазой воды ограничивает начальную температуру и снижает КПД цикла по сравнению с ПТУ на перегретом паре. Вторым недостатком такого цикла АЭС относится к необходимости использования паро-парового пароперегревателя, в котором используется греющий пар, поступающий из трубопровода перед турбиной (острый пар с p_0 и x_0). С термодинамической точки зрения использование острого пара в системе регенерации ПТУ нецелесообразно.

В данной работе рассматриваются варианты устранения или снижения выше приведенных недостатков цикла ПТУАЭС без изменения работы ядерного реактора.

Один из вариантов это совместное использование цикла ПТУ и газотурбинной установки (ГТУ). В этом случае возможно использование теплоты уходящих газов ГТУ для нагрева водяного пара перед турбиной, в пароперегревателе и воды в системе регенерации ПТУ. Увеличение КПД такого комбинированного цикла по сравнению с циклом АЭС на влажном насыщенном водяном паре может достигать 3 – 6 %.

Второй вариант связан с модной на сегодняшний день водородной энергетикой [2]. Здесь рассматриваются возможности получения водорода на АЭС с ПТУ на влажном насыщенном водяном паре с последующим использованием водорода для увеличения экономичности АЭС. В этом варианте возможно сжигание водорода и использование полученной теплоты в цикле ПТУ АЭС. Кроме этого возможно использование продуктов сгорания водорода в виде водяного пара в цикле ПТУ. Увеличение КПД цикла АЭС при использовании водорода по сравнению с циклом АЭС на влажном насыщенном водяном паре может достигать 5 – 8 %.

Анализ данных вариантов показывает, что повысить тепловую экономичность такой АЭС можно на 3-8 % без изменения работы ядерного реактора.

Библиографический список

1. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2., учебн. пособие. – ФГБОУВ-ПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина», 2008, 228 с.
2. https://www.erias.ru/files/5_ponomarev-st_-prezentatsiyaa_25_10_18-.pdf

*А.О. Каримжанова, маг.; Н.Н. Умыржан, студ.;
Т.Н. Умыржан, преп.; рук. М.В. Ермоленко, к.т.н.
(НАО «Университет им. Шакарима», г. Семей)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Эксергетический анализ – относительно новый раздел технической термодинамики, основанный на использовании концепции эксергии для изучения технических процессов. Этот метод широко используется при анализе холодильного оборудования и различных криогенных систем. Исследование эффективности работы холодильного оборудования на основе проведение эксергетического анализа, открывает перспективы совершенствования и энергоэффективности работы холодильных установок. Поэтому исследования эффективности и совершенствования работы холодильных установок на основе эксергетического анализа, посвящено много работ [1-4].

Цель исследования – изучение и оценка энергоэффективности работы холодильной установки на основе эксергетического анализа.

В результате исследования определялся эксергетический КПД теплообменных аппаратов холодильной установки, в результате которого была получена оценка термодинамического совершенства тепловых процессов, происходящих в теплообменном оборудовании.

Авторами был проведен эксергетический анализ холодильной установки, а также проанализированы оптимальные участки, для улучшения эффективности работы в целом.

Библиографический список

1. Антипов С. Т., Овсянников В. Ю., Кондратьева Я. И., Корчинский А. А. Эксергетический анализ концентрирующей вымораживающей установки // Вестник Международной академии холода. 2017. № 2. С. 78-83.
2. Mahdi, L. A. A.-A., Mohammad, W. S. and Mahmood, S. A. (2018) “Exergy Analysis of a Domestic Refrigerator”, Journal of Engineering, 24(9), pp. 1–20. doi: 10.31026/j.eng.2018.09.01.
3. Ebale, L. , Nakavoua, A. and Pierre Gomat, L. (2020) Exergetic Analysis of a Refrigeration System with Mechanical Vapors Compression. Energy and Power Engineering, 12, 490-498. doi: [10.4236/epe.2020.128030](https://doi.org/10.4236/epe.2020.128030).
4. Хрёкин А. С., Баранов И. В. Сравнительный анализ эффективности циклов холодильных машин // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 12-21. DOI: 10.17586/1606-4313-2021-20-1-12-21

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

ОЦЕНКА ЭКОНОМИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ В РЕКУПЕРАТИВНОМ ТЕПЛООБМЕННИКЕ

На отопление и вентиляцию зданий расходуется большое количество теплоты. В некоторых отраслях промышленности эти показатели достигают 70-80% от общей потребности в тепловой энергии. Установка рекуперативного теплообменника позволяет сократить эти расходы на 40-50% в зависимости от разницы температур воздуха в помещении и на улице. Рекуперативный теплообменник позволяет не только нагревать воздух в холодное время года, но охлаждать его в теплое время, что позволяет также экономить на системе кондиционирования.

В данной работе выполнен расчёт экономии тепловой энергии ΣQ_0 при утилизации вентиляционных выбросов в рекуперативном теплообменнике в зависимости от температуры воздуха t_n в предварительном нагревателе и избыточной тепловой мощности ΔQ в вентилируемом помещении. Результаты расчетов представлены на рис. 1.

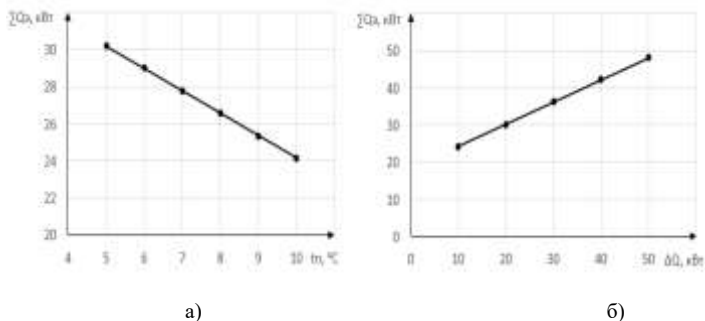


Рисунок 1 - Зависимость экономии тепловой энергии: а) от температуры воздуха в предварительном подогревателе; б) от избыточных тепловыделений

Как видно из рис. 1 экономия тепловой энергии существенно зависит от температуры воздуха на выходе из предварительного нагревателя и от мощности избыточных тепловыделений в вентилируемом помещении. При увеличении температуры t_n экономия тепловой энергии уменьшается, а при увеличении избыточной тепловой мощности экономия тепловой энергии увеличивается.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГАЗОБЕТОНА НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

В течение года влажность ограждающих конструкций зданий значительно изменяется, что оказывает влияние на теплофизические свойства конструкционных материалов. Известно, что коэффициент теплопроводности не является постоянной величиной и зависит от температуры, плотности, пористости и влажности материала. С ростом влажности значение коэффициентов теплопроводности материалов увеличивается. Так, например, для газобетона марки D500 при повышении влажности до 25% коэффициент теплопроводности увеличивается в 3,6 раза с 0,11 до 0,4 Вт/(м·К), что оказывает существенное влияние на теплопередачу.

В нормативных документах зависимость теплотехнических характеристик ограждающих конструкций от влажности учитывается только для двух условий эксплуатации – А или Б. Коэффициент теплопроводности для других условий, как правило, определяют экспериментально, а результаты представляют в виде эмпирических зависимостей или графиков.

В данной работе выполнен расчет плотности теплового потока через наружные ограждающие конструкции из газобетона в зависимости от влажности материала. Результаты расчета представлены на рис. 1.

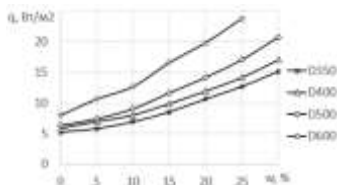


Рисунок 1 - Тепловой поток q через ограждающие конструкции из газобетона в зависимости от влажности w

Анализ данных представленных на рис. 1 позволяет сделать вывод о том, что изменение влажности газобетона приводит к увеличению тепловых потерь через наружные ограждения здания на 50-70% в зависимости от марки газобетона. Таким образом, отсутствие учёта реальной влажности материала может привести к серьезным ошибкам при проектировании зданий.

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

АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО И ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО КПД КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В котельной установке происходит преобразование химической энергии, выделившейся при сжигании органического топлива, в тепловую энергию продуктов сгорания. Затем эта теплота за вычетом потерь передается рабочему веществу, в результате чего получается полезный продукт – водяной пар. Эффективность работы котельной установки можно оценить, составив тепловой (энергетический) баланс котла. При этом тепловой баланс характеризует только количество тепловой энергии. Эксергетический баланс дает качественную оценку тепловым процессам, происходящим в котельной установке, и позволяет выявить пути повышения их термодинамической эффективности.

Энергетический и эксергетический анализ проведем для котельной установки, производящей пар с параметрами $p = 16$ МПа и $t = 550$ °С, при температуре продуктов сгорания в топке $t_{гр} = 2000$ °С и температуре окружающей среды $t_{oc} = 10$ °С.

Эксергетический КПД можно найти по формуле

$$\eta_e = \frac{e_2}{e_1 + e_3},$$

где e_1 и e_2 – эксергия воды и пара на входе и выходе из котельной установки; e_3 – эксергия теплоты топочных газов.

Эксергию потоков воды и пара, а также эксергию теплоты продуктов сгорания вычислим как

$$e = (h - h_o) + T_o(s - s_o); \quad e = q \cdot (1 - T_o / T).$$

В результате расчета установлено, что энергетический КПД котла составляет $\eta_k = 91$ %, а эксергетический $\eta_e = 50,6$ %. Можно сделать вывод, что котельная установка является эффективной с позиции первого закона термодинамики и весьма несовершенной с точки зрения второго закона термодинамики. Это происходит из-за большой разности температур продуктов горения и водяного пара, что приводит к недоиспользованию температурного потенциала теплоты, полученной при сжигании топлива. Повысить эксергетический КПД котельной установки можно уменьшив необратимость процессов горения и теплообмена между продуктами сгорания и нагреваемой водой, например, за счет применения нагревателей, использующих низкопотенциальную теплоту потоков рабочего тела, уходящего из котельной установки.

А.П. Рудич, В.Г. Болотнов студ.;
рук. В.Э. Зинуров, асс.
(КГЭУ, г. Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕВЫХ СКОРОСТЕЙ В МУЛЬТИВИХРЕВОМ АППАРАТЕ

В работах [1-2] был разработан аппарат для разделения сыпучего материала на основе силикагеля на фракции с граничным зерном равным 40 мкм. Целью данной работы является исследование распределения полей осевых скоростей в межтрубном пространстве аппарата (рис. 1). В докладе показано, что имеются отрицательные значения осевых скоростей, которые указывают на существование обратных потоков, т.е. транспортных каналов.

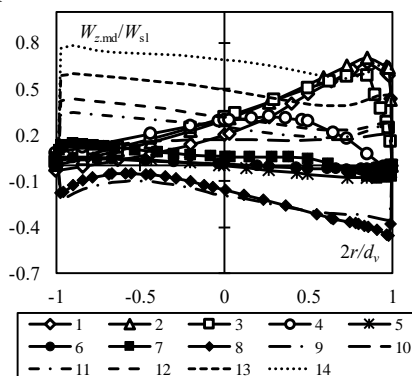


Рисунок 1 – Изменение безразмерной осевой скорости в пространстве между вихрями в безразмерных локальных точках при различной высоте расположения исследуемых вихрей h_{sw} , мм от основания классификатора с соосно расположенными трубами: 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 40; 5 – 50; 6 – 60; 7 – 70; 8 – 80; 9 – 90; 10 – 100; 11 – 110; 12 – 120; 13 – 130; 14 – 140

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 2710.2021.4.

Библиографический список

1. Зинуров В. Э., Мадьшев И. Н., Ивахненко А. Р., Петрова И. В. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 205-211.
2. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Сахибгареев Н. Ф., Латыпов Д. Н., Гарипов М. Г. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе // Вестник технологического университета. – 2021. – Т. 24. – № 12. – С. 128-132.

*М.Г. Сулейманов, инж., Светушков И.И., студ.
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

С целью автоматизации расчетов и поиска рациональных режимных и конструктивных параметров нагревательных печей разработана компьютерная программа «RNP».

Компьютерный код реализует математическая модель тепловой работы печи [1], в которой решение внешней задачи теплообмена выполнено упрощенным зональным методом [2], а внутренняя задача решена методом сеток с использованием чисто неявной разностной схемы. Сопряженная задача решена путем увязки внешней и внутренней задач теплообмена и реализована методом итерационного уточнения значений эффективных температур на границе расчетных подсистем.

Базовыми для программы являются три расчетных блока – блок решения внутренней, внешней и сопряженной задач теплообмена. В качестве вспомогательных блоков в программе реализованы блок расчета горения топлива и блок расчета угловых коэффициентов излучения.

Реализация математической модели работы нагревательных печей выполнена на языке программирования Delphi в рабочей среде Borland Delphi 2006. Выбор данной программной среды основан на простоте её использования при разработке визуальной оболочки компьютерного кода.

Вычислительная программа прошла тестовую проверку и позволяет путём сканирования вариантов выполнять вычислительные эксперименты по поиску рациональных режимов и рациональных конструктивных элементов нагревательных печей путем удовлетворения максимума или минимума заданного критерия оптимальности.

Библиографический список

1. **В.В. Бухмиров**, М.Г. Сулейманов. Численное решение задачи внутреннего теплообмена в садовой печи // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах: труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: материалы конференции.— Новокузнецк: ФГБОУВПО "Сибирский государственный индустриальный университет".— 2016. – С.357 – 362
2. **Бухмиров В.В.**, Крупеников С.А. Упрощенный зональный метод расчета радиационного теплообмена в поглощающей и излучающей среде // Изв. вуз. Черная металлургия. –1999. –№1. –С. 68–70.

*А.В. Попова, Т.А. Цаплина, студ.;
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕЛ ПРОСТОЙ И СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

В работе выполнено исследование интенсивности охлаждения тел простой (бесконечная пластина, бесконечный цилиндр и шар) и сложной (короткий цилиндр, бесконечный брус и куб) формы для одного расчетного размера R при граничных условиях III рода. Краевая задача теории теплопроводности решена методом сеток по неявной разностной схеме для тел простой формы. Температурное поле тел сложной формы найдено суперпозицией температурных полей тел простой формы при ГУ III рода [1]. Изменение безразмерной температуры теплового центра Θ_c всех тел во времени Fo показано на рис.1.

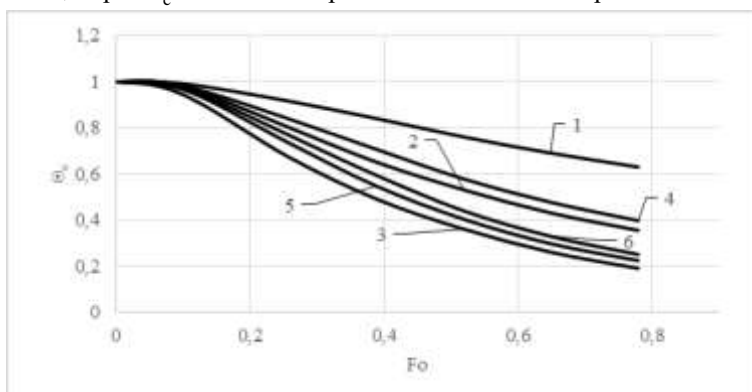


Рисунок 1 - Температура в тепловом центре: 1 – бесконечная пластина; 2 – бесконечный цилиндр; 3 – шар; 4 – бесконечный брус; 5 – короткий цилиндр; 6 – куб

Анализ графика показывает, что в каждый момент времени соблюдается соотношение температур $\Theta_{c,1} > \Theta_{c,4} > \Theta_{c,2} > \Theta_{c,6} > \Theta_{c,5} > \Theta_{c,3}$ (см. обозначения на рис. 1) – температура всех тел сложной формы находится в интервале температур для бесконечной пластины (без искривления поверхности тела) и шара (с максимальным искривлением поверхности тела).

Библиографический список

1. Бухмиров, В.В. Тепломассообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.

В.Э. Зинуров, асп., М.Р. Ахунов студ.;
рук. А.В. Дмитриев, д.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ГАЗОДИНАМИКИ В КЛАССИФИКАТОРЕ

Для уменьшения экономических и временных затрат применяют численное моделирование. Как правило, важной задачей для получения достоверных результатов, помимо сравнения численного моделирования с экспериментом, необходимо подобрать наиболее подходящую модель турбулентности [1-2]. В докладе показано, что наиболее близкими моделями являются $k-w$ SST и $k-\varepsilon$ Realizable (рис. 1).

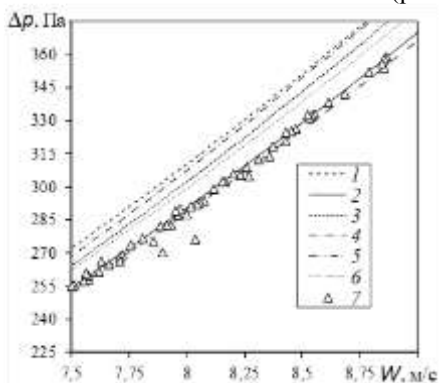


Рисунок 1 – Изменение потери давления от 225 до 375 Па в классификаторе с соосно расположенными трубами при входной среднерасходной скорости газового потока 7,5 - 9 м/с, модель турбулентности: 1 – $k-w$ Standard; 2 – $k-w$ SST; 3 – $k-\varepsilon$ Standard; 4 – $k-\varepsilon$ RNG; 5 – $k-\varepsilon$ Realizable; 6 – Spallart-Allmaras; 7 – эксперимент

Работа выполнена при финансовой поддержке Стипендии Президента РФ СП-3577.2022.1.

Библиографический список

1. Зинуров В. Э., Мадышев И. Н., Ивахненко А. Р., Петрова И. В. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 205-211.
2. Зинуров В. Э., Дмитриев А. В., Сахибгареев Н. Ф., Латыпов Д. Н., Гарипов М. Г. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе // Вестник технологического университета. – 2021. – Т. 24. – № 12. – С. 128-132.

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

СОЗДАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

Двигатель Стирлинга относится к типу двигателей внешнего сгорания. Принцип действия основан на периодическом нагреве и охлаждении рабочего тела, при этом работа совершается за счёт изменения объёма. В качестве источника тепла в таких двигателях может использоваться как органическое топливо, так и солнечная или геотермальная энергия. Двигатели Стирлинга используют там, где необходимо преобразовывать тепловую энергию в механическую или электрическую.

Основные достоинства таких двигателей – это простота конструкции и высокая надёжность, экономичность и экологичность. К недостаткам можно отнести материалоемкость, не высокий КПД и сложность в регулировке. В настоящее время в связи борьбой с загрязнением окружающей среды и шумом, интерес к двигателю Стирлинга с каждым годом растёт.

В данной работе создана демонстрационная модель двигателя Стирлинга (рис. 1), которая может быть использована в качестве наглядного пособия при изучении курса Техническая термодинамика.



Рисунок 1 - Принципиальная схема демонстрационной модели двигателя Стирлинга

Воздух, нагретый внутри цилиндра, создает давление, которое заставляет рабочий поршень двигаться вверх. При этом приведенный в действие маховик с помощью толкающей штанги направляет вытеснительный поршень вниз, который выдавливает разогретый воздух вверх в охлаждающую камеру, где воздух охлаждаясь опускает рабочий поршень вниз. Далее вытеснительный поршень движется вверх, перемещая охлажденный воздух в основание цилиндра, после чего цикл возобновляется. КПД такой установки зависит от температуры горячей и холодной источника: чем больше перепад температур, тем выше КПД.

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

РЕШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОТВОДА ПАРАЗИТНОГО ТЕПЛА

Паразитным теплом называют энергию, производимую технологической установкой, которую не используют в дальнейшем. Один из наименее затратных способов отвода такого тепла – это использование естественного холода грунта.

Согласно техническому заданию необходимо рассмотреть возможность организации системы охлаждения, при которой вода, охладив технологическую установку, попадает в теплообменный резервуар (каскад резервуаров), представляющий собой стальную трубу, погружённую в грунт. Подача воды производится сверху, а отбор происходит снизу.

Исходные данные:

- Температура воды на входе в теплообменный резервуар + 29 °С;
- Требуемая температура воды на выходе + 14 °С;
- Расход технологической воды 0,4 м³/ч;
- Грунт – песок среднезернистый, рыхлый (1900-2500 кг/ м³), водонасыщенный с коэффициентом теплопроводности 0,814 Вт/(м·С).

Поскольку с течением времени в процессе теплообмена грунт теряет способность отводить теплоту, расчёт с использованием критерияльных уравнений и номограмм для нестационарных процессов представляет особую сложность. Поэтому решение данной задачи проводилось с помощью COMSOL Multiphysics 5.6 [1]. Этот программный комплекс предназначен для численного решения поставленных задач методом конечных элементов. Использовались модули Heat Transfer in Solids and Fluids и Turbulent Flow (k-ε), объединённые мультифизической связью Nonisothermal Flow.

При задании условий однозначности принимались следующие допущения:

Коэффициент теплопроводности грунта не зависит от его температуры;

Идеальный контакт поверхности стальной трубы и грунта.

Результатом работы является анализ различных вариантов размещения подземных резервуаров, их количество и размер.

Библиографический список

1. Сайт компании разработчика пакета COMSOL Multiphysics [Электронный ресурс] / www.comsol.com. Режим доступа: <http://www.comsol.com>.

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

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЧЕХЛОВ

В настоящее время в целях энергосбережения достаточно широко применяются термоизоляционные чехлы (термочехлы), которые представляют собой изделия на основе негорючих волокнистых теплоизоляционных материалов, обшитых со всех сторон обкладочными тканями (стеклотканью или базальтовой, кремнеземной и керамической тканью, металлической сеткой). Термочехлы используются в различных областях энергетики, в жилищно-коммунальном хозяйстве, на тепловых сетях, в нефтегазовой, химической, металлургической, пищевой промышленности, а также на автомобильном и железнодорожном транспорте для выполнения теплоизоляции, шумоизоляции и огнезащиты трубопроводов и оборудования сложной геометрической конфигурации (гибов, отводов, запорно-регулирующей арматуры, фланцев и т.д.).

Для расчёта экономической и энергетической эффективности применения термочехлов для конкретного оборудования разработана специальная расчетная методика, которая была реализована в среде Microsoft Excel. В качестве критерия энергетической эффективности принята величина сокращения тепловых потерь до и после монтажа термочехла. Оценка экономической целесообразности установки данного вида тепловой изоляции рассчитывается по величине экономии денежных средств, значению простого срока окупаемости проекта и его чистого дисконтированного дохода (ЧДД).

Расчет тепловых потерь от запорной арматуры в окружающую среду выполнен по известным уравнениям теплопереноса с учетом конвективной и лучистой составляющих теплоотдачи в зависимости от конфигурации и ориентации оборудования в пространстве [1]. Для определения температуры наружной поверхности термочехла после его монтажа применён метод последовательных приближений.

Разработанная методика оценки эффективности установки термочехлов апробирована и внедрена на одном из предприятий РФ.

Библиографический список

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

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ КАЛЬЦИЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ ТРУБ

В паровом котле осуществляется сгорание органического топлива, выделяющаяся при этом теплота идёт на получение из питательной воды перегретого пара, который используется для выработки электрической энергии или в промышленных целях [1]. Надёжность работы котла в значительной степени зависит от условий работы парогенерирующих труб – от эффективности теплопередачи от топочных газов к находящейся в них пароводяной смеси. В течение эксплуатации на внутренней поверхности труб образуются отложения, а на наружной поверхности – окалина, всё это ухудшает теплопередачу, и приводит к увеличению температуры металла стенки труб. При значительной толщине отложений это может привести к пережогу экранных труб и аварийному останову котла.

Проведено численное исследование влияния толщины солевых отложений на теплопередачу цилиндрической стальной стенки. Расчёты проводились по методике, приведённой в работе [2], применительно к условиям работы парогенерирующих труб парового котла марки БКЗ-240-140-5, для чистой трубы, и трубы покрытой на внутренней поверхности кальциевыми отложениями, а на внешней – окалиной.

Анализ полученных результатов показывает, что шлакование и образование отложений приводит к уменьшению теплового потока, воспринимаемого водным теплоносителем, увеличивается температура металлической стенки трубы (рис. 1). Если принять толщину отложений 5 мм (а образование бугорков такой высоты вполне возможно), то температура металлической стенки превысит предельно допустимую температуру стенки из стали 20 равной 500 °С.

Библиографический список

1. Барочкин, Е.В. Котельные агрегаты, котлы-утилизаторы и парогенераторы АЭС: учеб. пособие / Е.В. Барочкин, Е.Н. Бушуев, А.С. Ривкин; ФГБОУВО «ИГЭУ». – Иваново., 2017. –296 с.

2. Бухмиров, В.В. Тепломассообмен: учеб. пособие для бакалавров / В. В. Бухмиров; ФГБОУВПО «ИГЭУ». –Иваново.; 2014. –360 с.

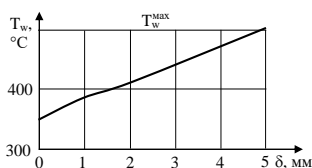


Рисунок 1 - Зависимость температуры поверхности парогенерирующей трубы (T_w) от толщины отложений (δ)

*Е.С. Удальцова, студ.; рук. Т.Е. Созинова, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УМЕНЬШЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ В ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Уменьшение потерь теплоты через оконные проёмы является одной из главных задач по энергосбережению в современных жилых домах. В отопительный период количество теряемой энергии через окна достигает до 35 % тепла помещения [1].

Цель работы – изучение особенностей проникновения спектра солнечного излучения через стеклянную поверхность окна, определение доли теплового излучения в общих потерях теплоты через светопрозрачные конструкции, сравнение существующих способов повышения энергоэффективности окон.

Самым простым способом снижения теплопотерь через оконные конструкции является использование современных уплотнительных материалов для герметизации оконных блоков, улучшение качества монтажа.

Через светопроницаемые поверхности минимизировать тепловые потери можно следующими способами:

- нанесение низкоэмиссионного покрытия;
- использование инертного газа в камерах стеклопакетов;
- увеличение количества стеклопакетов.

Дополнительное теплоотражающее покрытие позволяет аккумулированное внутри помещения тепло и тепловую энергию от нагревательных элементов отражать внутрь помещения. И тем самым значительно уменьшить лучистую составляющую тепловых потерь [2].

Газ, заполняющий камеры стеклопакета, влияет на его теплоизоляционные свойства. Коэффициент теплопроводности инертных газов ниже, чем воздуха, поэтому потери тепла через такое окно меньше [2].

Проведенные расчёты показали, что повысить энергоэффективность оконных конструкций можно увеличив термическое сопротивление разными доступными способами.

Библиографический список

1. **Кобелев В.Н.** Разработка метода энергосберегающей тепловой защиты жилого фонда города Курска и области // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2016. – № 3 (66) – С. 88-94.
2. **Дохоян Е.В.** Оптимизация наружных ограждающих конструкций с учетом энергосбережения // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых. – 2021 – С.222-224.

СЕКЦИЯ 5

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

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

Секретарь –
ассистент **Козлова М.В.**

*В.А. Косов, студ.; рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф.
(СГТУ им. Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

ТРУБЧАТЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОЙ КОМПАКТНОСТИ

В энергетике преимущественное применение имеют трубчатые поверхности теплопередачи в виде змеевиков или пучков труб. Компактность таких поверхностей не велика и ограничивается технологическими возможностями их изготовления.

Авторами предложены [1,2] новые конструкции трубчатых поверхностей теплопередачи, выполненных в виде однопоточных или многопоточных змеевиков с тесным расположением прямых труб - шпилек. На рис.1 показан элемент многопоточного змеевика [2]. Из таких элементов могут формироваться экранные поверхности нагрева или трубные пучки, например, в огневых подогревателях нефти или нефтяной эмульсии с прямым либо с косвенным нагревом, когда используется жидкий промежуточный теплоноситель.

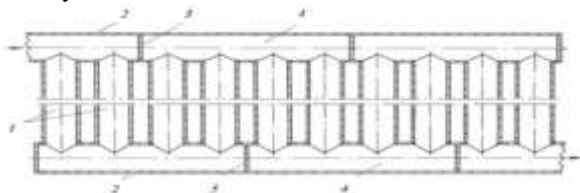


Рисунок 1 - Элемент трубчатого многопоточного змеевика: 1 – трубы; 2 – соединительные элементы – коллекторы; 3 – дисковые перегородки; 4 – поворотные отсеки

В качестве характеристики компактности принят относительный параметр $\varphi = (V_k/V_o)_{F = idem}$, где V_k и V_o – соответственно объемы змеевика [2], в котором расстояние между образующими смежных прямых труб равно 0,02 м, и традиционного змеевика, в котором трубы соединены крутоизогнутыми отводами с шагом $s = 1,75d$, при одинаковых площадях F поверхностей теплопередачи. Согласно расчетам, для шахматной компоновки труб в трубном пучке параметр $\varphi = 0,28$ и не зависит от диаметра d труб в змеевиках. Для коридорной компоновки φ уменьшается с увеличением d . При $d = 0,03$ м, например, $\varphi = 0,67$, а при $d = 0,09$ м величина $\varphi = 0,35$.

Библиографический список

1. Патент РФ № 2382973 С1, МПК F28F1/00. Оpubл. 27.02.2010. Бюл. № 6.
2. Патент РФ № 2747570, МПК F28F1/00. Оpubл. 07.05.2021. Бюл. № 13.

Д.Х. Нгуен, асп.; рук. Т.А. Степанова, к.т.н, уч., доц.
(НИУ МЭИ, г. Москва)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОРРЕФИКАЦИИ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

Ежегодно около 884 млн тонн произведенных продуктов питания теряется и выбрасывается в мире. Только в России объем пищевых отходов достигает около 17,8 млн тонн в год [1]. Хотя пищевые отходы имеют относительно высокую теплоту сгорания (после сушки $Q_{Н}^Г = 20,2$ МДж/кг) [2], но практически большинство объем пищевых отходов (94%) попадает на полигонах. Одним из потенциальных методов обработки пищевых отходов, обеспечивающих новый источник экологически чистого топлива, является торрефикация. Торрефикация - этот процесс состоит из медленного нагрева биомассы в диапазоне температур от 200 до 300 °С в контролируемой атмосфере без присутствия кислорода.

В качестве входного топлива используется смесь пищевых отходов с характеристиками, указанными на рис.1. Экспериментальные результаты показаны на диаграмме.

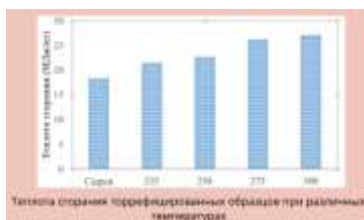
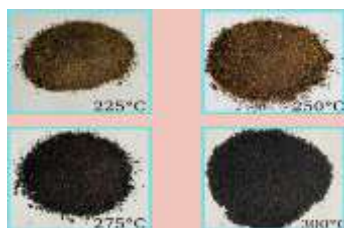


Рисунок 1 - Характеристика смеси пищевых отходов и результаты экспериментального исследования

Полученный продукт имеет не только высокую теплоту сгорания, но и повышенную гидробоность.

Библиографический список

1. Статистика Всемирного Банка «Потери продовольствия и пищевые отходы», 2020
2. **Prabir Basu** - Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction, 2018

А.П Мунин , студ.; рук Н.А Озеров, к.т.н, доц.,
А.В Кульбякина, к.т.н., доц
(СГТУ им Гагарина Ю.А, г. Саратов);

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОБСТВЕННЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ВЭР И ВЫРАБОТКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Одним из направлений повышения эффективности нефтеперерабатывающих предприятий (НПЗ) и снижения доли энергетических ресурсов в себестоимости товарной продукции является интеграция собственных источников энергообеспечения с энергетическим комплексом (ЭК) НПЗ. На основании системного анализа эффективности ЭК НПЗ предложена инновационная система энергообеспечения с утилизацией всех видов ВЭР и выработкой тепловой и электрической энергии, синтез газа (рисунок) [1]



Рисунок 1 - Принципиальная схема установки энергообеспечения НПЗ

На примере отдельного производства НПЗ для предложенной схемы были рассчитаны основные технико-экономические показатели, так выработка тепловой энергии составила 29 МВт, электрической энергии 6 МВт, индекс доходности 1,8 руб/руб, срок окупаемости менее 5 лет.

Библиографический список

1. Кульбякина А.В, Озеров Н.А, Батраков П.А, Савельева А.И, Мунин А.П «Efficiency improvement of oil and gas facilities power supply systems», Journal of Physics: Conference Series, Scopus 2021г.
2. Кульбякина А.В, Озеров Н.А, Мунин А.П «Анализ структуры систем теплоснабжения предприятий переработки нефти» Вестник КРСУ. 2021г. Том 21. № 4 ВАК

*Г.И. Парфенов, асп.; И.С. Трухин, студ.;
рук. В.В. Тютиков, д.т.н.; Н.Н. Смирнов, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ДВУХМЕРНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ БЛОК С ТЕПЛОТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ

В строительной теплофизике особое внимание уделяется вопросам повышения тепловой защиты существующих и проектируемых зданий и сооружений [1]. «Слабым звеном» в тепловой защите являются светопрозрачные конструкции, обладающие наименьшим значением сопротивления теплопередаче. В качестве энергосберегающих решений предлагается увеличение количества слоёв остекления, применение теплоотражающих покрытий и металлических экранов [2], заполнение воздушных прослоек газами с низкой теплопроводностью и т.д.

При расчете приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций особую важность представляют процессы, происходящие в воздушной прослойке между слоями остекления. Для изучения данного вопроса в специализированном программном комплексе была разработана двухмерная имитационная модель процесса теплопередачи через оконный блок, представляющий собой стеклопакет формулой 4М1Х10Х4М1Х10Х4М1 в деревянной раме, с установленными снаружи теплоотражающими экранами. Экраны выполнены из алюминиевой фольги. При моделировании использовался метод конечных элементов.

Были получены температурные поля как на поверхностях конструкции, так и в её разрезе. Особый интерес представляют рассчитанные в программном комплексе линии функции тока, а также изотермы в воздушных прослойках. На основании выполненного моделирования были определены тепловые потери, а также приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной конструкции. Была проведена верификация данных имитационного моделирования с результатами собственных экспериментальных исследований, проведенных в климатической камере, а также с информацией других исследователей.

Библиографический список

1. **Савин В.К.** Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение. М., «Лазурь», 2005, 432 с.
2. **Parfenov, G.I.** Improving the energy efficiency of dynamic air condition systems in buildings with controlled resistance to window heat transfer / G.I. Parfenov, N.N. Smirnov, V.V. Tyutikov // *Journal of Physics: Conference Series* — 2018.— № 1111.— iss. 1. — p. 6.

В.О. Потемкина, А.А. Корышев, студ.;
рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭКСПРЕСС-АУДИТ РАБОТЫ АБОНЕНТСКОГО ВВОДА ЖИЛОГО ДОМА

Ниже приведены результаты экспресс-аудита жилого здания, оборудованного элеваторным узлом смешения.

Исходные данные:

- характеристика здания: жилое, 5-этажное, панельное;
- температура наружного воздуха: -5°C ;
- диаметр сопла элеватора: 9,4 мм;
- температура: $\tau_1 = 70^{\circ}\text{C}$, $\tau_2 = 41^{\circ}\text{C}$, $\tau_3 = 54^{\circ}\text{C}$;
- давление: $P_1 = 0,48$ МПа, $P_2 = 0,36$ МПа, $P_3 = 0,38$ МПа.

Тепловая нагрузка здания при расчетных условиях определена по данным фактического режима работы абонентского ввода здания с использованием параметра kF здания [1]. Полученное значение $Q_{o,max} = 0,192$ Гкал/ч принимаем за расчетный расход тепловой энергии на отопление здания.

В таблице приведены результаты анализа работы абонентского ввода здания. Данные экспресс-аудита показывают, что значения коэффициентов расхода теплоты и воды при фактическом режиме близки к расчетным значениям, а усредненное значение температуры внутреннего воздуха (качество теплоснабжения) отличается от расчетного значения менее 5 % (без учета внутренних тепловыделений).

Таблица 1 - Результаты расчета режимов работы элеваторного ввода

N п/п	Наименование параметров	режим	
		расчетный	фактический
	Расход сетевой воды, т/ч	3,20	3,06
	Коэффициент смешения элеватора	1,40	1,23
	Расход воды системы отопления, т/ч	7,68	6,83
	Расход теплоты на отопление, Гкал/ч	0,0905 (при $t_n = -5^{\circ}\text{C}$)	0,0887
	Располагаемый напор, м вод. ст.	12,1	13,9
	Коэффициент расхода теплоты	1	0,980
	Коэффициент расхода воды	1	0,889
	Температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$	18,0	17,16

Библиографический список

1. **Потемкина В.О.** Организация дистанционного мониторинга режима работы системы теплоснабжения. ВКР. Иваново: ИГЭУ, 2021– 73 -73 с.

*А.В. Данилова, студ.; рук. С.А. Банникова, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Использование альтернативных источников энергии для повышения эффективности производства тепловой энергии в автономных системах теплоснабжения в настоящее время является актуальным. Главными достоинствами использования возобновляемой энергии является её неисчерпаемость, значительная экономия первичного топлива и экологичность. В климатических условиях Центральной России, характеризующихся низким уровнем солнечной радиации и незначительным потенциалом ветра, основным видом нетрадиционного возобновляемого источника энергии является энергия поверхностных слоев грунта.

Для оценки потенциала данной энергии на рисунке 1 представлен график изменения температуры грунта по глубине для климатических параметров Центральной России (г. Иваново) [1]. Иллюстрация показывает, что грунт обладает достаточным потенциалом и может использоваться в качестве низкопотенциального источника энергии.



Рисунок 1 - График изменения температуры грунта в течении отопительного периода

Системы теплоснабжения на базе геотермальных тепловых насосов в России имеют ряд особенностей. Более высокие по сравнению с европейскими странами значения удельной отопительной нагрузки при низкой температуре грунта ведут к увеличению площади поверхности грунтового теплообменного аппарата и, как следствие, к увеличению капитальных затрат и срока окупаемости геотермального теплового насоса. Для снижения капитальных и эксплуатационных затрат целесообразно произвести мероприятия по повышению тепловой защиты здания и переход на низкотемпературную систему отопления.

Библиографический список

1. Волков М.М., Михеев А.Л., Конев К.А. Справочник работника газовой промышленности. М., Москва, 1988. 144с.

*Г.И. Парфенов, асп.; М.О. Абышкин, студ.;
рук. В.М. Захаров, доц., к.т.н.; Н.Н. Смирнов, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИЗУЧЕНИЮ РАБОТЫ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Ректификация – это процесс разделения жидких смесей на практически чистые компоненты, различающиеся температурами кипения, путём многократного испарения жидкости и конденсации паров. Студентам, обучающимся по профилям "Промышленная теплоэнергетика" и "Энергообеспечение предприятий", для более глубокой подготовки необходимо иметь не только теоретические знания в области ректификационных установок, но и практические навыки и умения по управлению работой данного оборудования.

В лаборатории «Тепломассообменное оборудование промышленных предприятий» кафедры «Промышленная теплоэнергетика» ИГЭУ авторами совместно с научными руководителями был разработан и создан лабораторный стенд по изучению работы ректификационной установки. Стенд включает в себя испарительный куб, с установленной в нем системой подогрева исходной смеси, тарельчатую ректификационную колонну, конденсатор-дефлегматор, холодильник, систему оборотного водоснабжения, а также необходимое регулирующее и измерительное оборудование. В качестве исходной используется смесь воды и этилового медицинского спирта.

На данном стенде с помощью измерителя-регулятора ИРТ-4/16 происходит отображение графиков изменения температуры по 8 точкам измерения на мониторе компьютера. Используя спиртометр, студенты могут определить объемное содержание спирта в смеси в начале и по окончании опыта. При помощи тепловизора Testo 875 можно наглядно зафиксировать температурные поля на поверхностях установки в разные моменты времени. Установленный на стенде ротаметр позволяет не только определить объемный расход охлаждающей воды, но и произвести его регулирование.

В ходе выполнения лабораторной работы студенты смогут решить следующие **задачи**: изучить приемы управления работой ректификационной установкой; получить и проанализировать термограммы поверхностей при помощи тепловизора TESTO; построить кривые фазового равновесия и по температурам определить концентрации; построить графики изменения температур и концентраций НКК в установке при различных режимах работы; выполнить расчёт теплового баланса установки.

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТУРБИНЫ К-300-240

Одна из актуальных проблем в современной энергетике — это нарастающий процесс старения оборудования энергетического комплекса, составляющий в настоящее время примерно 50% [1]. На текущий эксплуатация ГРЭС, как одних из источников электрической энергии, будет продолжена в случае решения ряда вопросов, связанных с энергетической эффективностью, надежностью и экономичностью.

Одним из основных направлений повышения энергетической эффективности турбоагрегата является повышение глубины вакуума в конденсаторе турбины. Очевидно, что вакуум будет тем глубже, чем ниже температура охлаждающей воды, причем разница между величиной вакуумметрического давления зимой и летом может быть значительной. В дальнейшем исследование предполагается вести в направлении оценки целесообразности применения трансформаторов теплоты в тракте охлаждения конденсатора паровой турбины.

Температура охлаждающей воды на входе в конденсатор, на примере конденсационной турбины К-300-240 ЛМЗ [2], принятой в качестве объекта исследования, зависит от вида системы технического водоснабжения и географического месторасположения электростанции, времени года и от многих других факторов. Зависимость термического КПД турбины К-300-240 ЛМЗ от температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор изображена на рисунке 1.

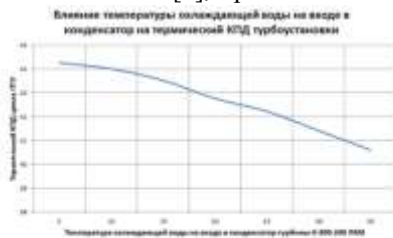


Рисунок 1. Зависимость термического КПД ПТУ от температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор

Библиографический список

1. Юрлов Е. Ю. Тенденции развития ремонтного комплекса электроэнергетики России / Е. Ю. Юрлов // Российский индекс научного цитирования Science Index. — 2017. — №3. — С. 59.
2. СТО 70238424.27.040.009— 2009. Турбина К-300-240-1 ЛМЗ. Технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования. — введ. 2010— 01— 11. — Москва : ЗАО ЦКБ Энергоремонт, 2009. — 273 с.

*Е.В. Измайлова, доц.; Е.В. Гарнышова, асп.;
рук. Ю.В. Ваньков, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА ОТ ПЛОТНОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ

Заращение отложениями поверхностей теплообмена является серьезной проблемой, для повышения энергоэффективности, продления срока службы которых необходимо проводить их своевременный контроль [1]. Для выявления зависимости собственных частот колебаний поверхностей теплообмена от плотности и толщины отложений были проведены расчеты в ANSYS. В качестве модели поверхности теплообмена была взята пластина из структурной стали длиной 400 мм, шириной 160 мм, толщиной 2 мм, заземленной с двух сторон [2]. В качестве отложений был взят оксид кальция CaO, с характеристиками: плотность – 3,37 г/см³, модуль Юнга – 2,0-2,5·10¹¹ дин/см², коэффициент Пуассона – 0,25, с разной толщиной отложений. На рисунке 1 приведен график зависимости собственных частот колебаний пластины с отложениями оксида кальция от номера моды, где 1 – 2,5 мм; 2 – 2,0 мм; 3 – 1,5 мм; 4 – 1,0 мм; 5 – 0,5 мм.

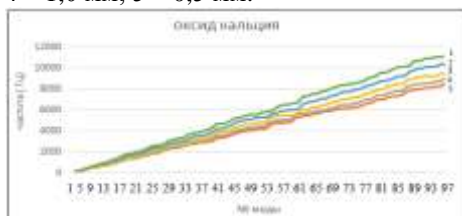


Рисунок 1 - Частоты колебаний пластины с отложениями оксида кальция

По полученным данным видно, что с увеличением плотности и толщины отложений увеличиваются собственные частоты колебаний пластины. Своевременный контроль поверхностей теплообмена, выявление отложений и его чистка позволяет повысить энергоэффективность, продлить срок службы.

Библиографический список

1. Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В. Контроль толщины отложений теплообменно-го оборудования и способы его очистки. / «ЭНЕРГИЯ-2019»: сб. тез. докл. Иваново: ИГЭУ, 2019. Т. 1, С. 71.
2. Izmailova E.V., Garnyshova E.V., Kazakov R. B., Serov V.V. Determination of the sediment thickness on the heat-exchange surfaces by free vibration method /SES-2019. E3S Web of Conf. 124, 05069 (2019), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912405069>.

*П.А. Кувшинова, студ.; рук. А.В. Коновалов, к.т.н., доц.,
О.Н. Махов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО РАЙОНА

Системы газоснабжения представляют собой сложный комплекс сооружений. На выбор системы газоснабжения оказывает влияние ряд факторов: размер газифицируемой территории, особенности ее планировки, плотности населения, число и характер потребителей газа. Элементы газовой сети должны быть безопасными и надежными, обладать простотой в эксплуатации и обеспечивать бесперебойность подачи газа потребителям. Все вопросы проектирования, выполнения строительного-монтажных работ, а также эксплуатация систем газоснабжения регламентированы основными документами: СНиП 2.04.08-87* и «Правила безопасности в газовом хозяйстве».

В данной работе мною выбирается и обосновывается система газоснабжения, рассматривается классификация систем газоснабжения в зависимости от давления при подаче газа, от назначения в системе газоснабжения, места прокладки газопровода, построения системы газоснабжения. Объектом разработки является жилой район с населением 5000 жителей. В ходе проделанной работы рассчитаны годовые и часовые расходы газа на бытовое и коммунально-бытовое потребление, произведен гидравлический расчет систем газоснабжения.

В заключении мною оценивается экономическая эффективность капитальных вложений при строительстве газопровода, определяются такие параметры систем, которые для достижения заданного полезного результата требуют наименьших затрат материальных, энергетических, денежных или других ресурсов.

Библиографический список

1. **Ионин А.А.** Газоснабжение – М.: Стройиздат 1983. – 440с.
2. **Колпакова Н. В.** Газоснабжение: учебное пособие / Н. В. Колпакова, А. С. Колпаков; [науч. ред. Н. П. Ширяева] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 200 с.
3. **О. Н. Брюханов, В. А. Жила, А. И. Плужников.** Газоснабжение. Учебное пособие: 2008 г. – 441 стр.
4. **С. Н. Борисов, В. В. Даточный.** Гидравлические расчеты газопроводов: 1972 г. – 108 стр

*Д.А. Пономарева, студ.; рук. С.А. Банникова, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОКЛИМАТА ЗРИТЕЛЬСКИХ ТРИБУН КАТКА С ИСКУССТВЕННЫМ ЛЬДОМ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

Одной из основных задач создания комфортного микроклимата ледового дворца является организация такой системы кондиционирования, которая смогла бы обеспечить требуемые параметры воздушной среды для зрителей.

Поддержание оптимальных параметров микроклимата, наиболее благоприятных для самочувствия человека на трибунах катка с искусственным льдом в условиях работы центрального кондиционирования является актуальной задачей.

Для зрителей в соответствие с санитарно-гигиеническими требованиями должна поддерживаться температура воздуха на уровне $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и кратность воздухообмена на одного зрителя не менее $20\text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{чел}$ [1]. Данных параметров можно добиться путем использования оптимальной схемы организации воздухообмена при общеобменной вентиляции «снизу-вверх» [2]. Эта схема предусматривает установку по периметру помещения системы воздуховодов и воздухораспределительных устройств, благодаря которым будет осуществляться подача свежего воздуха в направлении трибун. Вытяжка отработанного воздуха производится в верхней части помещения через воздухозаборные системы. Данная схема является наиболее оптимальной, так как зона трибун отсекается от «ледовой» зоны, и подогретый воздух не оказывает негативного воздействия на лед. Для более эффективного разделения зрительской зоны и зоны ледового покрытия рекомендуется применение защитных экранов.

Улучшение качества принимаемых инженерных решений при проектировании микроклимата ледового дворца позволяет снизить энергетические и экономические затраты.

Библиографический список

1. СП 332.1325800.2017 Спортивные сооружения. Правила проектирования/Минстрой России, 2018. – 151 с.
2. Пыжов В.К. Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» – Иваново, 2014. – 524 с.

*Л.А. Сагадеева, студ.; рук. Ю.Н. Звонарева, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ, КАК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Повышение эффективности тепловой изоляции является на данный момент очень актуальной задачей в теплоэнергетике, ведь она включает в себя комплексный подход, требующий множество мер, таких как полная или частичная замена тепловой изоляции, использование новейших разработок, добавление нанокomпозитов и напорошков.

Минеральная вата — это материал, который состоит из переплетенных между собой отдельных волокон. Между волокнами располагаются статичные воздушные полости, выполняющие самые важные — теплоизолирующие функции. Одним из современных способов улучшения свойств минеральной ваты считается пропитка данного материала связующими и различными гидрофобизирующими добавками. В том числе важным способом является добавление смеси для изготовления термоаккумулирующих изделий, которое позволяет добиться негорючести (волокна минеральной ваты способны выдерживать температуру 1000°С, при этом волокна остаются невредимыми, связанными между собой и сохраняют свою прочность и огнеупорные характеристики), низкой теплопроводности, гидрофобности, звукоизоляции, долговечности. Для получения трудногораемого материала с весьма высокими механическими и теплоизоляционными свойствами применяют сочетание пенополистирола с минеральными вяжущими веществами [1].

Суть данного исследования состоит в том, чтобы рассмотреть то, как добавление различных смесей и изменение кристаллической решётки минеральной ваты влияет на характеристики материала, и сделать анализ полученных результатов. Личным вкладом автора в разработку является рассмотрение способов модернизации минеральной ваты и то, как данные методы позволяют улучшить сильные стороны материала, тем самым перекрыв некоторые его минусы. Всё это поможет увеличить эффективное использование минеральной ваты, что в свою очередь, приведет к уменьшению теплопотерь при использовании тепловой изоляции. А это является очень важным фактором развития энергосбережения и энергоэффективности.

Библиографический список

1. Пономаренко А.А., Ежов В.Б., Комарова Н.П. Технология и свойства строительных изоляционных материалов и изделий : лабораторный практикум / А.А. Пономаренко, В.Б. Ежов, Н.П. Комарова.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017.— 92 с.

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

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВАКУУМНОЙ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 №261 регламентирует увеличение количества объектов, использующих в качестве источников энергии вторичные энергетические ресурсы, а также введение мер по энергосбережению.

В данной работе выполнен расчет вакуумной сушильной установки под объемы производства конкретного предприятия с применением оборудования, которое позволит использовать вторичные энергоресурсы. К такому оборудованию относятся: твердотопливный котел на древесном топливе, сушилка с «кипящим слоем» для использования теплоты уходящих газов. Вакуумные сушильные камеры являются передовыми в области сушки древесины и имеют ряд преимуществ перед другими видами сушки. В работе выполнены: тепловой и материальный расчет сушильной установки, расчет выбора оборудования, технико-экономическое обоснование выбранного оборудования.

В заключении дан вывод об эффективности вакуумной сушильной установки по сравнению с камерными сушильными камерами и выполнен расчет основных экономических показателей.

Библиографический список

1. **Богданов, Е. С.** Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины: Центральный научно-исследовательский институт механической обработки древесины / Е. С. Богданов, О. И. Гринькова, В. В. Кулакова. – Архангельск, 1985. – 69 с.
2. **Захаров, В. М.** Сушка твердых материалов: методич. пособие / В. М. Захаров, Н. М. Ладаев. – Иваново, 2004 – 84с.

В.А. Садертинова, И.А. Быкова, А.А. Кряжева, студ.;
рук. О.Б. Колибаба, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КОТТЕДЖА

При строительстве необходимо стремиться к повышению энергетической эффективности зданий, то есть к уменьшению тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции [1]. В данной работе авторами рассмотрены два варианта ограждающей конструкции – каркасная и кирпичная, с одинаковым теплоизолирующим материалом – пенополистиролом. Расчёты по определению теплового потока были проведены в программном комплексе ANSYS [2].

Задача решалась в двумерной постановке с использованием модуля Fluent. При моделировании задавались теплофизические свойства материалов стены и граничные условия на внутренней и наружной поверхностях – температуры и коэффициенты теплоотдачи. Результаты получены в виде температурных полей, значений температур в конкретных точках и тепловых потоков через ограждение.

По результатам исследований для дальнейших расчётов была принята каркасная стена. Затем для выбранного коттеджа был рассчитан тепловой баланс, согласно которому суммарные потери по помещениям (тамбур, холл, кухня, ванная, столовая, гостиная, коридор и 2 спальни) составили 5,73 кВт. Также были определены расход теплоты на нагрев воздуха, поступающего для компенсации естественной вытяжки из квартиры - 16,9 кВт и нагрузка на ГВС с учетом того, что в доме проживают пять человек, - 1,7 кВт. В итоге нагрузка, которую должен обеспечить теплогенератор, равна 24,33 кВт.

С учётом этой нагрузкой были подобраны две теплогенерирующие установки: двухконтурный настенный котел РМС-S 24-34 фирмы De Ditrich и тепловой насос фирмы Henk, использующий теплоту грунта.

Затраты на электроэнергию для работы теплового насоса равны 273 тыс. руб/год, стоимость тепловой энергии – 209 тыс. руб/год. Экономия при выборе котла составит 230 тыс. руб.

Библиографический список

1. **Малявина, Е.Г.** Тепловые потери здания: справочное пособие/ Е.Г. Малявина. – 2-е изд., испр. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2011. – 144 с.
2. **Денисов, М.А.** Математическое моделирование теплофизических процессов. ANSYS и CAE-проектирование: учебное пособие / М. А. Денисов. Екатеринбург: УрФУ, 2011, 149 с.

*Д.Ж. Құдайбергенов, Д.Н. Касемканов, Д.К. Оразгулов, студ.; рук. О.А. Степанова к.т.н., доц.
(Университет Шакарима, г. Семей)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Применение древесины широко распространено как в строительстве, так и при изготовлении различных изделий, включая мебель. Поэтому рассмотрению эффективности процесса сушки древесины, как одной из обязательных операций при ее подготовке к дальнейшему использованию, посвящено достаточное большое количество работ [1, 2].

Целью работы было исследование эффективности низкотемпературной конвективной сушки древесины.

Рассматривались мягкий и форсированный режимы для образцов из сосны толщиной от 20 до 60 мм. Влажность образцов определялась весовым методом [3]. Процесс сушки включал в себя следующие стадии:

- начальный прогрев древесины;
- контроль за режимом сушки и влажностью древесины;
- влаготеплообработка;
- кондиционирование;
- охлаждение.

На основе проведенных исследований были построены графики зависимости влажности древесины от продолжительности сушки для мягкого и форсированного режимов, а математическая обработка позволила получить аналитические зависимости изменения влажности древесины в зависимости от продолжительности процесса.

Библиографический список

1. **Ермоченков М.Г.**, Семенов Ю.П., Кладов М.Ю. Внутренние источники теплоты при сушке древесины. В сборнике: Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского. 2016. С. 188-192.

2. **Ахметова Д.А.**, Асаева Л.Ш., Шакиров А.Р. Повышение качества высокотемпературной сушки измельченной древесины. В сборнике: Интеллектуальный потенциал общества как драйвер инновационного развития науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2019. С. 8-10.

3. **Методы определения** влажности древесины: сушильно-весовой метод. - Текст : электронный // Valutek : [сайт]. - URL: <https://www.valutek.ru/news/blog> (дата обращения: 10.01.2022).

И.Н. Мадышев, к.т.н. (КНИТУ, г. Казань); Р.С. Осипов, студ. (НХТИ КНИТУ, г. Нижнекамск); рук. В.В. Харьков, к.т.н. (КНИТУ, г. Казань)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ НА ВИХРЕВОЙ КОНТАКТНОЙ СТУПЕНИ

Оборотная вода широко используется в ряде отраслей для снижения температуры в технологических и производственных процессах. Системы охлаждения, используемые для циркуляции воды через охлаждательные установки и вспомогательное оборудование (вентиляторы, насосы и т.д.) потребляют значительное количество энергии. Поэтому вопросы повышения энергоэффективности систем охлаждения с использованием новых передовых технических решений является актуальной. Так использование закрученных течений открывает новые возможности для реализации прорывных технологий с получением показателей, которых невозможно достичь с помощью существующих технологий и оборудования.

Была разработана и исследована вихревая контактная ступень для колонного аппарата для охлаждения воды. Численное моделирование проводилось в стационарном режиме. Значение скорости потока воды на входе в расчетную область было равно 0,2; 0,5; 0,7; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75 и 2,0 м/с. Температура воды задавалась 293 К. На выходе из кольцевого пространства задавалось давление 101325 Па, на стенках задавалась температура 273 К. При моделировании использовалась модель SST $k-\omega$ с типовыми эмпирическими коэффициентами. В результате численных исследований был получен диапазон значений относительной высоты вихрей от $7,74d_v$ до $27,09d_v$. Анализ полученных данных показал, что при высоких скоростях жидкости наибольшая относительная высота наблюдается у вихрей с диаметром 31 мм. Найдено, что в исследуемой конструкции быстрее всего распадаются вихри диаметром 15,5 мм. Такой характер изменения относительной высоты вихрей объясняется ростом неупорядоченности вихрей, образованием гидродинамического пограничного слоя, который разрушает вихревые структуры. Следует отметить, что при маленьких скоростях жидкости наблюдаются более высокие значения относительной высоты вихрей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00001, <https://rscf.ru/project/21-79-00001/>.

Библиографический список

1. Дмитриев, А. В. Определение коэффициента массоотдачи в жидкой фазе в струйно-барботажном контактном устройстве / А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, И. Н. Мадышев // Теплоэнергетика. – 2016. – № 9. – С. 76-80.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Все электрические машины в результате работы производят значительное количество избыточного тепла. Это обусловлено механическими, магнитными и электрическими потерями энергии. Механические потери возникают в следствие трения в подшипниках и трения подвижных частей о воздух. Магнитные потери энергии являются следствием постоянного перемагничивания сердечника и наличием вихревых токов. Электрические потери происходят в результате нагрева токопроводящих элементов при протекании по ним электрического тока [1].

Обмотки большинства промышленных электродвигателей рассчитаны на работу при температуре, не превышающей 90-95 градусов цельсия. При стандартных нагрузках, машина успешно справляется с естественным повышением температуры рабочих органов и корпуса. Однако, при работе двигателя в режимах отличных от номинального, наблюдается перегрев обмоток, что может привести к его преждевременному выходу из строя. Одним из таких режимов является режим пониженной частоты вращения ротора. Сильное нагревание агрегата также наблюдается и при увеличении допустимой нагрузки на двигатель.

Учитывая данные факторы, встаёт вопрос выбора наиболее эффективной системы охлаждения двигателя. Для исследования эффективности способов охлаждения электродвигателей необходимо составить математическую модель процессов теплообмена. Наиболее подходящим для этих целей инструментом является программный комплекс COMSOL Multiphysics. Данное программное обеспечение позволяет осуществлять исследование различных физических явлений методом конечно-элементного анализа.

Библиографический список

1. Усольцев А.А. Электрические машины/Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2013, – 416 с.

*И.И. Волков, студ.; рук. С.А. Банникова, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕЛИОТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ В ПЛАВАТЕЛЬНОМ БАССЕЙНЕ

Одним из вариантов эффективного использования солнечной энергии является ее включение в технологию нагрева воды в плавательном бассейне. Работа установок солнечного горячего водоснабжения напрямую зависит от погодных условий, поэтому для повышения эффективности и продолжительности эксплуатации таких гелиосистем их совмещают с теплонасосными установками.

Гелиотеплонасосная установка для подогрева воды в бассейне включает в себя солнечный коллектор, бак-аккумулятор, тепловой насос и циркуляционные насосы. В период максимального солнечного излучения вся тепловая энергия, воспринятая солнечным коллектором, используется для нагрева воды в низкотемпературном баке-аккумуляторе, из которого вода поступает непосредственно в бассейн. За счёт того, что теплоноситель в солнечном коллекторе имеет температуру меньшую или равную температуре окружающей среды, потери тепловой энергии отсутствуют, что даёт возможность использовать всю тепловую энергию, полезно воспринятую солнечным коллектором. В период неблагоприятных погодных условий, когда наблюдается недостаток солнечной энергии, в работу включается тепловой насос. При этом нагретая при помощи солнечных коллекторов вода из низкотемпературного бака-аккумулятора поступает в испаритель теплового насоса, повышающего потенциал полученной тепловой энергии. В результате нагретая в конденсаторе теплового насоса вода направляется в бассейн.

Использование низкотемпературного бака-аккумулятора, главным преимуществом которого является низкие тепловые потери, позволяет увеличить продолжительность работы установки и повысить ее эффективность. Кроме того, низкая высота теплоподъёма в тепловом насосе приводит к снижению затрат энергии на привод компрессора и значительно уменьшает эксплуатационные затраты на работу установки.

Вышеперечисленные особенности данной установки свидетельствуют о ее высокой эффективности.

Библиографический список

1. Твайделл Д. Возобновляемые источники энергии. М.: Энергоатомиздат, 1990. 392 с.

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

ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В настоящее время задачи проектирования и определения энергетической эффективности различных систем особенно актуальны. Большая часть энергосистем нашей страны изношена на 60 и более процентов. В связи с этим проведение наладочных, конструкторских и поверочных расчетов всех энергосистем является очень востребованным.

Вопросы проектирования новых объектов также связаны со множеством расчетов таких как, тепловые, гидравлические, электрические, строительные и прочие. При этом скорость принятия решений по строительству или реконструкции объекта необходимо принимать в довольно сжатые сроки.

Следует сказать, что вопросы быстрого принятия решения требуют тщательной проработки вопроса, анализа нескольких вариантов развития проекта с разными нагрузками, разным оборудованием, с учетом технического состояния сети и прочими составляющими.

Поиск новых способов и методов расчета энергетической эффективности различных систем привел к созданию различных программных продуктов, позволяющих производить такие расчеты в различных вариациях.

С развитием вычислительной техники появилась возможность решать разные прикладные задачи с большим количеством исходных данных, по потребителям, источникам, сетям имея под рукой обычный персональный компьютер.

В настоящее время существует много различных программ позволяющих выполнить поверочные, наладочные и конструкторские расчеты.

Относительно расчетов систем газоснабжения существует множество платных систем, таких как RINCAD, STONER, AQUA, CalcFlow, WaterWorks.

Среди отечественных продуктов для расчета систем газоснабжения наибольшей популярностью пользуется геоинформационная система Zulu «GAZ». Созданная модель в системе ГИС позволяет анализировать различные режимы работы всей системы, а также моделировать изменения режима работы в случае внештатных ситуаций или незапланированных переключений и отключений.

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ С ВОДОГРЕЙНЫМИ КОТЛАМИ

В условиях непрерывного роста цен на энергетическое топливо остро стоит проблема его экономии. В настоящее время одним из направлений повышения энергоэффективности систем теплоснабжения промышленных предприятий и городских поселений является применение когенерационных технологий.

В данной работе рассмотрена модернизация котельной с водогрейными котлами предприятия ОАО «ПСК», расположенного в г. Иваново.

Техническое перевооружение существующей котельной заключается в разработке комплекса мероприятий по повышению технико-экономических показателей на основе внедрения передовой техники и технологии, а именно: замена котла КВ-ГМ-30 на современный водогрейный, жаротрубный котел Unitherm-8000 фирмы «POLYKRAFT»; модернизации существующей системы водоподготовки(ВПО); установка двух пластинчатых теплообменников для приготовления ГВС, а также путем использования когенерационной установки (КГУ). В качестве первичных двигателей КГУ рассматривались газопоршневая и газотурбинная установки, которые в настоящее время находят широкое применение.

В работе, используя данные о наличии тепловых и электрических нагрузок, с учетом уже установленного оборудования, на основании технико-экономического сравнения вариантов выбрана когенерационная газопоршневая установка (ГПУ). Электрическая энергия произведенная когенерационной установкой будет использоваться для электроснабжения винтовых компрессоров, а тепловая энергия – на собственные нужды котельной.

Автором произведено сравнение технико-экономических показателей до и после модернизации котельной, а также выполнен анализ совместной работы водогрейного котла и ГПУ.

Библиографический список

1. Буров В.Д., Дудолин А.А., Макаревич В.В., Макаревич Е. В. Разработка метода по выбору газопоршневых энергоустановок. М.: Изд-во МЭИ, 2011. 57 с.
2. Романов Г.А. Повышение энергоэффективности промышленных предприятий. М.: НИУ МЭИ, 2012. 38 с.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

В работе выполнено исследование работы производственно-отопительной котельной текстильного предприятия в г. Кохма с целью повышения показателей теплотехнической эффективности.

Авторами рассмотрены следующие варианты повышения эффективности работы котельной: переход к раздельной двухконтурной схеме теплоснабжения для нужд отопления за счет установки промежуточного теплообменного аппарата – для водогрейной части котельной; глубокая утилизация теплоты уходящих дымовых газов – для паровой части котельной.

В качестве объекта исследования предложена утилизационная система замкнутого типа "котел-теплоутилизатор" для котельного агрегата, не имеющего в своем составе воздухоподогревателя.

В состав системы входят конденсационный воздухоподогреватель, представляющий собой пластинчатый аппарат, в котором в качестве поверхности теплообмена использованы спиралеобразные гофрированные элементы и конденсационный теплообменный аппарат (ТОА) поверхностного типа, сформированный из пакета труб с невысокими ребрами, изготовленных из нержавеющей стали.

На основе анализа существующих методов тепловых расчетов элементов теплоутилизационных систем [1] была разработана программа расчета в продукте Microsoft Excel. Данная программа дает возможность осуществить позонный расчет ТОА, что позволяет получить более достоверные данные об основных параметрах процесса теплообмена при конденсации водяных паров из парогазовой смеси. Использование программы дает возможность проводить расчетные исследования для решения задачи выбора рациональных параметров теплоносителей и других показателей системы с целью обеспечения высокой теплотехнической эффективности при низких капитальных затратах.

Библиографический список

1. **Ефимов А.В.**, Гончаренко А.Л., Гончаренко Л.В. Разработка пластинчатого воздухоподогревателя конденсационного типа для теплоутилизационной системы. Журнал ЭНЕРГЕТИКА: ЭКОНОМИКА, ТЕХНОЛОГИИ, ЭКОЛОГИЯ, 2012, 2 (31), с 83–90.

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

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА МБДОУ «ДЕТСКИЙ САД №16 «ЗОЛОТОЙ КЛЮЧИК»

Целью настоящей работы является выявление приоритетных направлений повышения энергетической эффективности объекта теплоснабжения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: составить тепловой баланс здания детского сада; выявить статьи наибольших тепловых потерь; разработать мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности здания.

Объектом исследования является детский сад, расположенный в городе Кольчугино. Параметры наружного и внутреннего воздуха для данного объекта определены в соответствии с [1] и [2].

В результате проведенной работы был составлен тепловой баланс здания и выявлены основные тепловые потери. Потери через наружные стены составили 16,2 кВт, через светопрозрачные конструкции – 27,1 кВт, через покрытие здания – 12,94 кВт, через наружные двери – 6,7 кВт, через пол – 17,7 кВт, на нагрев наружного воздуха при инфильтрации через светопрозрачные ограждения- 22,4 кВт и наружные двери – 6,1 кВт.

Таким образом, наибольшими по величине статьями тепловых потерь являются потери через светопрозрачные конструкции и потери на нагрев наружного воздуха, поступающего в здание за счет инфильтрации. Для повышения энергетической эффективности здания принято решение о замене настоящих окон на четырехслойное остекление из обычного стекла в двух спаренных переплетах с термическим сопротивлением $0,80 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$ [3], а также об установке рекуперативного теплообменного аппарата в системе вентиляции в целях подогрева поступающего в помещение наружного воздуха. Данные мероприятия позволят снизить потери теплоты на 40 кВт.

Библиографический список

1. СП 131.13330.2020. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Минрегион России. – М.: ЦПП, 2012. – 114 с.
2. ГОСТ 30494-2011. ЗДАНИЯ ЖИЛЬЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ. Параметры микроклимата в помещениях. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095053> (дата обращения: 27.02.2022). – Текст: электронный.
3. Пыжов В. К. Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека: учебник / В. К. Пыжов; ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина".— Иваново, 2014.—524 с.

*А.В. Урвачев, Е.М. Киселева студ.;
рук. С.В. Васильев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ

Одним из возможных путей решения задач повышения энергетической эффективности является развитие автономных систем тепло и электроснабжения, позволяющих свести к минимуму потери транспортировки и обеспечить высокий КПД использования топлива.

Однако, при их использовании, не всегда в полной мере удастся реализовать преимущества когенерационных технологий, поскольку существуют ограничения, определяемые:

- несоответствием графиков тепловой и электрической нагрузок потребителя соответствующим графикам КУ;
- значительной суточной и сезонной неравномерностью как электрической, так и тепловой нагрузок потребителя.

В данной работе рассмотрены способы повышения эффективности работы газопоршневой установки (ГПУ), входящей в состав энергетического комплекса предприятия ООО "Крайтекс-Ресурс", расположенного в г. Кохма Ивановской области:

- регулирование производства тепла и электроэнергии в условиях мини-ТЭЦ, путем использования баков-аккумуляторов (БА) для обеспечения тепловой нагрузки горячего водоснабжения. В этом случае когенерационная установка может работать практически с постоянной мощностью, то есть в базовом режиме производства энергии;
- использование системы утилизации теплоты ГПУ для других нужд предприятия в моменты несоответствия нагрузок;
- оптимизация электрической нагрузки предприятия для экономии электрической энергии для дальнейшего отпуска в сеть.

Для выполнения расчета технико-экономических показателей работы мини-ТЭЦ до и после проведения предлагаемых мероприятий использовалась программа, разработанная авторами в продукте Microsoft Excel.

Библиографический список

1. Колесниченко Н.В., Сафьянц С.М., Бирюков А.Б., Литвинов О.В. Обоснование целесообразности использования бака-аккумулятора для регулирования отопительной нагрузки газопоршневой мини-ТЭЦ. Вестник ИГЭУ, 2021, вып. 1, с. 21–30.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ БИОМАССЫ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Развитие энергетики предполагает использование ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий, например, использование растительной биомассы в качестве топлива, значительную долю которой составляет древесина, в виде отходов деревоперерабатывающей промышленности.

Рациональное и эффективное использование древесной биомассы в энергетических целях, как возобновляемого и экологически безопасного сырья, открывает возможность получения тепловой и электрической энергии, вторичных энергоносителей (газообразных – синтез-газ, водород; твердых – древесный уголь, гранулированное и брикетированное биотопливо; жидких – био-масло) и различных перспективных высокотехнологичных материалов.

Использовать твёрдое топливо в высоко эффективных когенерационных газопоршневых или газотурбинных установках напрямую невозможно. Поэтому следует провести газификацию твёрдого топлива биомассы, то есть превратить его в горючий газ.

Газификатор-реактор, в котором протекает термохимический процесс газификации твёрдого топлива. В технической литературе газификатор называют газогенератором. Ввиду низкого содержания смол был выбран прямоточный газогенератор плотного слоя обращённого процесса, который можно использовать в газотурбинных и газопоршневых установках после предварительной очистки в циклоне и скрубере. КПД такого газогенератора составляет 90%, что выше реальных КПД твёрдотопливных котлов (80%).

Для выработки тепловой и электрической энергии наиболее эффективными на газовом топливе являются ПГУ-ТЭЦ, значения КПД которых существенно выше значений КПД газотурбинных и паротурбинных установок.

Библиографический список

1. **Алешина А.С., Сергеев В.В.** Газификация твердого топлива: учеб. пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010 — 202 с.

*М.В. Козлова ассистент; рук. А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И НАГРЕТОЙ МОРСКОЙ ВОДЫ

Опреснение воды гигроскопическим методом включает в себя 2 основных процесса: насыщение воздушного потока и его осушку. В связи с тем, что процесс насыщения воздушного потока влагой является одним из процессов, определяющих производительность установки, то его исследование является актуальным.

В ходе экспериментального исследования проводились замеры: температуры воздуха на входе в барботажное устройство по сухому $t_{в}^c$ и мокрому термометрам $t_{в}^M$, температура воды в зоне барботажа $t_{воды}$, расход ПВС, температура ПВС по сухому $t_{пвс}^c$ и мокрому термометрам $t_{пвс}^M$, количество влаги W , унесенное воздухом. Замеры проводились при постоянном расходе воздуха, составляющем 22,6 м³/ч, толщине барботажного слоя 5 см. Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты экспериментальных исследований процесса насыщения воздушного потока влагой

Параметр	Температура воды в зоне барботажа, °С			
	70	80	90	100
$t_{в}^c$, °С	28,06	28,13	28,09	28,03
$t_{в}^M$, °С	20,92	20,95	20,94	20,87
$t_{пвс}^c$	66,42	77,98	87,88	97,20
$t_{пвс}^M$	65,84	77,70	87,61	96,90
Расход ПВС, кг/ч	34,13	39,35	53,15	168,88
W , кг/ч	7,68	12,90	26,70	142,43

В ходе обработки результатов эксперимента определялись среднее квадратичное отклонение, относительная, случайная и абсолютная погрешность измерений, с учетом инструментальной погрешности. При измерении температуры относительная погрешность измерения изменялась в диапазоне от 1,5 до 5%, расхода ПВС – от 5 до 8%.

В результате экспериментального исследования установлено, что интенсивность процесса насыщения существенно зависит от температуры воды в зоне барботажа, при этом изменение количества влаги, уносимого воздушным потоком с возрастанием температуры происходит нелинейно.

*М.В. Козлова ассистент; рук. А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕНАСЫЩЕННОГО ВОЗДУШНОГО ПОТОКА И ОПРЕСНЯЕМОЙ ВОДЫ

Производительность опреснительных установок гигроскопического типа зависит от интенсивности тепломассообменных процессов, протекающих при насыщении воздушного потока влагой в ходе его взаимодействия с опресняемой водой. В связи с этим актуальной является задача определения влияния режимных параметров на расход влаги, испаряющейся в зоне барботажа в опреснительных установках гигроскопического типа на основе математических моделей.

Исходя из возможностей программного комплекса ANSYS принято осуществлять моделирование процесса насыщения воздушного потока с помощью этой программы. Математическое моделирование процессов тепломассообмена при барботаже воздушного потока в слой нагретой опресняемой воды в данном случае подразумевает использование модели многофазности и испарения. Для моделирования многофазности в программном пакете предусмотрены несколько модулей, однако применительно к решаемой задаче наилучшим образом подходит модуль Volume of Fluid.

В ходе моделирования принимались следующие допущения: воздух и опресняемая вода не вступают между собой в химическую реакцию; параметры воздуха меняются только в вертикальном направлении; все пузыри имеют одинаковые размеры в горизонтальном сечении; воздух представляет собой смесь газов.

В качестве граничных условий для математической модели используются массовый расход воздушного потока, поступающего в барботажное устройство, его температура, температура контактирующей с ним опресняемой воды. При это воздух рассматривается как смесь азота, кислорода, углекислого газа и водяного пара. В ходе моделирования задаются 3 фазы: вода (как жидкость), водяной пар и воздух, представляющий собой смесь газов.

Полученные результаты были верифицированы с экспериментальными данными, погрешность расчетов лежит в диапазоне от 8 до 12,4 %, относительная погрешность является допустимой. На основе полученной модели возможно прогнозирование производительности установки в зависимости от режимных параметров.

СЕКЦИЯ 6

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Секретарь –
ассистент **Козлова М.В.**

*К.К. Паушкина, асп.; рук. Д.О. Глушков, к.ф.-м.н., доц.
(НИ ТПУ, г. Томск)*

МИКРОВЗРЫВНОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ГЕЛЕОБРАЗНЫХ ТОПЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПРОЦЕССЕ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ

В настоящее время актуальным направлением развития теории горения конденсированных веществ является исследование процессов зажигания и горения гелеобразных топлив [1], которые по агрегатному состоянию занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми топливами и сочетают их преимущества, как в плане относительно высоких энергетических и экологических характеристик, так и показателей безопасности при хранении [2]. Вследствие многокомпонентной структуры гелеобразных топлив механизм их горения достаточно существенно отличается от механизма горения широко распространенных жидких топлив [3]. Установлено [1], что при нагреве, зажигании и горении капли гелеобразного топлива условно можно выделить 4 стадии: прогрев частицы в условиях плавления топлива и разделения его компонентов, при этом формируется гетерогенная структура (капля горючего компонента, покрытая пленкой загустителя); зарождение пузырьков в горючей жидкости на границе с пленкой загустителя и их рост за счет увеличения давления по мере прогрева капли расплава; реализация паффинга или микровзрыва при схлопывании пузырьков, приводящих к частичному или полному диспергированию капли расплава (в зависимости от компонентного состава топлива и интенсивности подвода теплоты); в случае паффинга – последующее монотонное уменьшение размера капли при газофазном горении в ее окрестности, а в условиях микровзрыва – интенсивное выгорание мелкодисперсных фрагментов после разрушения исходной капли расплава в относительно большой по размерам области, в несколько раз превышающей начальный размер частицы топлива.

Исследование выполнено за счет гранта РФФ № 18-13-00031.

Библиографический список

1. **Liu Z., Hu X., He Z., Wu J.** Experimental study on the combustion and microexplosion of freely falling gelled unsymmetrical dimethylhydrazine (UDMH) fuel droplets // *Energies*. 2012. V. 5. P. 3126–3136.
2. **Ciecki H.K., Naumann K.W.** Some aspects on safety and environmental impact of the German green gel propulsion technology // *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. 2016. V. 41. P. 539–547.
3. **Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Nigay A.G., Yashutina O.S.** Heat and mass transfer induced by the ignition of single gel propellant droplets // *Journal of the Energy Institute*. 2018. V. 92. P. 1944–1955.

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

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА В ТЕПЛОВОЙ СЕТИ С АИТП

Вышедший в 2012 году документ СП 60 [1] регламентирует системы внутреннего теплоснабжения зданий присоединять к тепловым сетям централизованного теплоснабжения через автоматизированные тепловые пункты (АИТП).

Можно ли эксплуатировать систему теплоснабжения со стопроцентной установкой АИТП в тепловой сети, не нарушая качества теплоснабжения, используя всё тот же отопительный температурный график, как при качественном регулировании?

Опыт эксплуатации таких систем показал, что датчики температуры наружного воздуха регуляторов отопления реагировали на резкое снижение температуры, особенно в межсезонье, и они открывались повсеместно во всех АИТП. Вдобавок утром наблюдался характерный пик потребления горячей воды, на что срабатывали и регуляторы температуры. Расход сетевой воды резко возрастал, источник теплоснабжения не успевал нагреть такой объём воды. Так как регуляторы во всех АИТП были практически полностью открыты, то система начинала работать как неавтоматизированная, поэтому наблюдалось повсеместное нарушение качества теплоснабжения.

Решить подобного рода проблему можно, если держать температуру воды в подающей линии выше, чем по отопительному температурному графику, то есть иметь запас по нагретому теплоносителю.

Результаты статистического анализа повреждаемости тепловых сетей показывают, что наиболее частой причиной повреждений теплопроводов является наружная коррозия. При температуре более 100 °С скорость коррозии резко падает [2].

Переход на количественное и качественное-количественное регулирование с температурой теплоносителя в подающем трубопроводе не ниже 100 °С в течение периода теплоснабжения является необходимостью при увеличении АИТП в общей тепловой сети.

Библиографический список

1. СП 60.13330.2020. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование / Минрегион России. – М.: ЦПП, 2020. – 155 с.
2. Улиг Г. Г., Ревн Р. У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ./Под ред. А. М. Сухотина. —Л.: Химия, 1989.— Пер. изд., США, 1985. — 456 с., ил.

Г.И. Парфенов, асп., И.В. Осипов, студ.;
рук-ли В.М. Захаров, к.т.н., доц., В.В. Тютиков, д.т.н., проф.,
Н.Н. Смирнов, ст.пр.,
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ЭФФЕКТ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКРАНОВ В СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ РМЦ АО «ПСК»

Согласно данным исследований из МЭИ в РФ затраты на отопление, вентиляцию, кондиционирование воздуха и ГВС составляют примерно 160 млн т. у. т. На отопление расходуется 80 % из вышеуказанных затрат.

В целях сокращения этих затрат было проведено исследование по определению эффективности применения теплоотражающих экранов в окнах и дополнительного понижения температуры внутреннего воздуха в нерабочее время для систем обеспечения динамического микроклимата производственного помещения промышленного предприятия АО «ПСК».

Авторами было произведено тепловизионное обследование здания, составлен тепловой баланс. Было выявлено, что значительная часть тепловых трансмиссионных потерь приходится на светопрозрачные конструкции (окна и световой фонарь).

Для помещения было предложено произвести утепление непрозрачных ограждающих конструкций (стен, ворот и покрытия), разместить за отопительными приборами теплоотражающие экраны, а также заменить остекление на энергосберегающие окна с использованием теплоотражающих покрытий и металлических экранов.

Для поддержания повышенной производительности труда у работающих в помещении РМЦ людей предлагается поддержание динамических метеорологических параметров внутреннего воздуха. Для снижения тепловой нагрузки на системы по поддержанию микроклимата предлагается в нерабочее время понизить температуру внутреннего воздуха до минимально допустимой, исходя из условия недопущения выпадения конденсата на внутренних поверхностях остекления (с использованием и без металлических экранов). Определена эффективность использования предложенных мероприятий.

М. В. Белоногов, асп.,; рук. Р.И. Егоров, к.ф.-м.н.
(ТПУ, г. Томск)

ГАЗИФИКАЦИЯ СМЕСЕЙ ТОРФА И ЛИГНИТА С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЖИРАМИ

В последнее десятилетие энергетический кризис стимулирует интерес науки и промышленности к возобновляемым смесевым топливам [1, 2]. В работе рассмотрены особенности аллотермической газификации квази-возобновляемых смесей на основе торфа и бурого угля с добавлением рапсового масла.

Нагрев смеси производился сфокусированным световым потоком мощностью до 900 Вт/см². Такое воздействие приводит к образованию газовой смеси [3], с высоким содержанием горючих компонентов (СО, СН₄, Н₂).

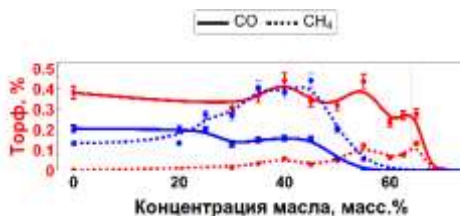


Рис.1 – Зависимость состава генераторного газа от содержания рапсового масла в образце топлива.

В ходе исследования был произведен анализ характерных температур на поверхности слоя топлива и компонентного состава получаемой газовой смеси. Были определены оптимальные

составы смеси и предпочтительный режим конверсии. При конверсии смеси бурого угля и рапсового масла максимальный выход горючих газов наблюдался, когда доля масла составляла 40 масс.%. При конверсии смеси торфа и рапсового масла наиболее калорийный газ производился, когда доля рапсового масла достигала 65 масс.%. Рассмотрены особенности кинетики разложения смесей и их отличия от процессов разложения чистых торфа, лигнита и рапсового масла. Указанные составы смесей позволяют максимально задействовать тепловые эффекты окисления топлива.

Библиографический список

1. Jarvinen M.P., Zevenhoven R., Vakkilainen E.K. Auto-gasification of a biofuel // Combustion and Flame. – 2002. – V 28. P. 441 – 4562.
2. Gorbunov V.B, Podgorodetskii G.S., Polulyakh L.A., Sazhin A.Y., Yusfin Y.S. Production of generator gas from solid fuels // Steel in Translation. – 2015. – V 45. – P. 395 – 402.
3. Белоногов М.В., Зайцев А.С., Егоров Р.И. Конверсия топливных композиций, состоящих из торфа и рапсового масла, в генераторный газ // Химия твердого топлива. – 2021. №6. С. 14-21.

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

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫПАРНЫХ УСТАНОВОК С МЕХАНИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИЕЙ ПАРА

Затраты на эксплуатацию в выпарных установках во многом обусловлены потребляемой энергией, в настоящее время существуют различные методы её экономии.

Энергоэффективность установки определяется из баланса между поступающей в систему энергией и энергией, отводимой по завершению процесса выпаривания.

В ходе работы было рассмотрено несколько видов выпарных установок с различными типами нагрева. Целью являлось выявление аналитическим методом наиболее эффективного способа экономии энергии в выпарной установке.

Были рассмотрены следующие возможные варианты работы выпарных установок:

- 1) выпарная однокорпусная установка;
- 2) выпарная установка с применением термокомпрессии;
- 3) выпарная установка с применением механической компрессии;
- 4) выпарная двухкорпусная установка;

По результатам произведенных расчетов было установлено, что выпарные установки с механическим сжатием вторичного пара по итогу являются наиболее экономичными по затратам энергии, кроме того, они требуют минимальных затрат острого пара. Энергия, отводимая от системы, также сокращается.

В основе работы данной установки лежит механический компрессор, работа которого схожа с действием теплового насоса. Для наибольшей эффективности можно использовать многоступенчатые компрессоры.

Были также выявлены перерасходы затрат энергии в трех оставшихся видах выпарных установок по отношению к установке с механической компрессией пара.

Применение выпарных аппаратов с падающей пленкой жидкости и механической компрессией пара является на данный момент наиболее выгодным с точки зрения энергозатрат и получения готового продукта.

*Г.И. Парфенов, асп., И.А. Быкова, П.Е. Чернов, студ.;
рук-ли С.В. Васильев, к.т.н., доц., Н.Н. Смирнов, ст. препод.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОТРАЖАЮЩИХ ЭКРАНОВ В ОКНАХ (НА ПРИМЕРЕ МАНСАРДНОГО ЭТАЖА КОРПУСА "Д" ИГЭУ)

Поддержание допустимых параметров микроклимата в помещениях, где люди заняты интенсивным умственным трудом, с помощью системы вентиляции, при обеспечении требований в области энергосбережений, является актуальной задачей.

В новом учебно-лабораторном корпусе «Д» ИГЭУ микроклимат обеспечивается с помощью системы отопления и вентиляции. На мансардном этаже для большинства помещений была организована система механической общеобменной приточно-вытяжной вентиляции, а для санитарных узлов – местной вытяжной вентиляции.

В связи с производственной необходимостью были установлены дополнительные межкомнатные перегородки, что привело к изменению существующей схемы воздухообмена. Так, в некоторых помещениях осталась только приточная, а в других – только вытяжная механическая вентиляция.

Было проведено энергетическое обследование этажа, в том числе сделана тепловизионная съёмка ограждающих конструкций, а также составлен баланс по вредностям. Было выяснено, что наибольшие трансмиссионные потери приходятся на светопрозрачные конструкции. Рассчитали требуемый воздухообмен для помещений. Были предложены мероприятия по реконструкции существующей системы вентиляции с целью обеспечения необходимого воздухообмена в помещениях [1].

В ходе исследования было выполнено имитационное моделирование воздухообмена в помещениях.

Определили энергосберегающий эффект от применения теплоотражающих экранов в окнах [1]. Теплоотражающие экраны применяются в темное время суток или во время отсутствия людей в помещениях.

Библиографический список

1 Parfenov G.I., Smirnov N.N., Pyzhov V.K., Tyutikov V.V. Improving the energy efficiency of dynamic air condition systems in buildings with controlled resistance to window heat transfer // Journal of Physics: Conference Series — 2018.— № 1111.— iss. 1. — p. 6.

*В.М. Лапинова, студ.; рук. Н.Н. Пронин, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОМЕННОГО ГАЗА

Металлургия является одним из самых энергоемких производств в нашей стране. Ссылаясь на Федеральный закон №261 от 23.11.2009 «Об энергосбережении ...» регламентирующего увеличение количества объектов, использующих ВЭР в качестве источников энергии, можно сделать вывод об актуальности рассмотрения данного вопроса.

Доменный газ – ВЭР, получаемый во время выплавки чугуна в доменных печах. Неэффективность его использования в качестве топлива заключается в низкой теплоте сгорания и высокой влажности.

В данной работе проводится анализ нескольких способов применения доменного газа:

1. Сжигание в котлах и печах. Данная технология является самой распространенной в России и представляет собой совместное сжигание природного и доменного газов в топке парового котла или в печах.

2. Двухтопливная ПГУ с дожиганием. Доменный газ используется для дожигания в котле утилизаторе парогазовой установки с газовой турбиной.

3. ПГУ на доменном газе. Рассматриваемый ВЭР подается в камеру сгорания газовой турбины.

Самым эффективным способом применения доменного газа является установка ПГУ (см. таблицу 1), но он не нашел применения в нашей стране, поэтому стоит внедрять данную технологию в производство, сокращая, тем самым, использование природного газа.

Таблица 1 – Эффективность энергетического использования представленных способов применения доменного газа

Тип ТЭС	КПД по выработке э/э, %	Коэффициент использования теплоты топлива, %
Утилизационная ТЭС	24-41	54-56
Металлургические ПГУ с дожиганием ДГ	46	45-55
Металлургические ПГУ на ДГ без дожигания	43-51	Нет данных

Библиографический список

1. **Рыжков А.Ф.** Повышение эффективности использования доменного газа на металлургических предприятиях России, 2016. с. 26–34.

*В.Г. Мухлаев, студ.; рук. С.Н. Ярунин к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ АБТН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Широкое внедрение на промышленных предприятиях новых технологий, направленных на повышение эффективности использования топлива и энергоносителей является одной из основных задач развития промышленной теплоэнергетики на современном этапе.

Такой технологией является применение абсорбционных бромистолитиевых тепловых насосов (АБТН) для утилизации бросового тепла и его трансформации на более высокий температурный уровень.

В настоящее время на промышленных предприятиях применяется технология производства этанола в ректификационных колоннах насадочного типа. По существующей технологической схеме пары этанола выходят из верхней части колонны и конденсируются в теплообменнике-конденсаторе за счёт охлаждающей воды из градирни. При этом скрытая теплота конденсации этанола безвозвратно теряется.

Если вместо теплообменника-конденсатора установить АБТН второго типа, то можно утилизировать теплоту конденсации паров этанола и 50% этого тепла вернуть в ректификационную колонну для нагрева куба. Данное решение позволит существенно снизить расход греющего водяного пара на процесс ректификации.

В данной работе составлена технологическая схема установки ректификации этанола с применением АБТН второго типа. Выполнен расчёт показателей энергетической эффективности ректификационной колонны с АБТН и без него.

Сравнение этих показателей подтверждает вывод о значительной экономии тепловой энергии за счёт применения АБТН.

Полученные результаты могут послужить началом широкого применения АБТН в промышленности и, следовательно, повысить уровень энергетического развития страны.

Библиографический список

1. **Ярунин С.Н.** Технологии эффективного использования топлива и энергоносителей на предприятиях: учебно-методическое пособие. - Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2021 — 101 с.
2. **Данилов О.Л. и др.** Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов; под ред. А. В. Клименко. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010.—424 с.

*Е.Д. Новикова, студ.; рук-ль М.В. Козлова, ассистент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОГРЕЙНОЙ КОТЕЛЬНОЙ Г. НАВОЛОКИ

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

В ходе проведения энергетического обследования водогрейной котельной, расположенной в г. Наволоки, было установлено, что величина тепловых потерь от котельного агрегата ТВГ-8 №3 является значительной и при номинальном режиме работы утечки теплоты составляют 173 кВт. Это обусловлено наличием локальных повреждений обмуровки с высокой температурой, пример которых приведен на рис.1.

В ходе теплового расчета котельного агрегата [2] были определены суммарные тепловые потери через зоны с повышенной температурой, они составили 59 кВт. После восстановления поврежденных участков потери теплоты сократились на 52 кВт, что позволило уменьшить расход топлива, потребляемого котельной на 7100 м³/год.

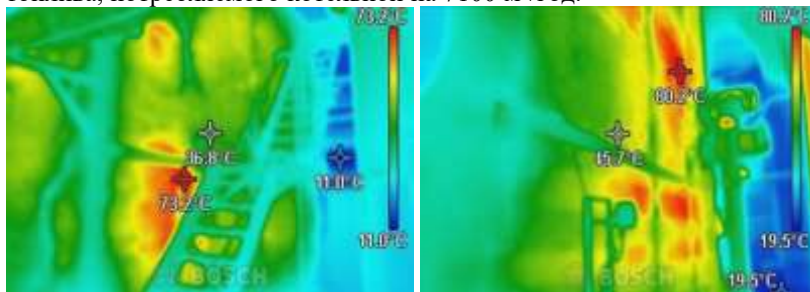


Рисунок 1 - Замеры стены котла №3 тепловизором марки BOSCH GTC 400 С

В результате проведённых мероприятий по повышению энергетической эффективности водогрейной котельной КПД повысился на 1%.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности". [Электронный ресурс]-URL:

[https://base.garant.ru/12171109/.](https://base.garant.ru/12171109/)

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

А.И. Мануленко, студ.; А.Р. Досумов, студ.; А.Е. Ақынжан, студ.; рук. М.В. Ермоленко, к.т.н., (Университет Шакарима, г. Семей)

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОГЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОИЗОЛЯТОРА

Выбор изоляционного материала, который максимально обеспечивает тепловую защиту всегда остается актуальной задачей при расчете и проектировании тепловых сетей. В последние годы особое внимание уделяется аэрогелям, которые являются отличными теплоизоляторами и могут практически блокировать передачу тепла [1].

Целью работы было установить преимущества аэрогелей при использовании их в качестве теплоизоляции для тепловых сетей и ограждающих конструкций.

К наиболее значимым характеристикам аэрогеля можно отнести следующие:

- низкая плотность (от 0,003 до 0,3 г/см³);
- малая теплопроводность (коэффициент теплопроводности имеет значение от 0,010 до 0,040 Вт/(м·К)).

Также следует отметить огнестойкость, экологичность, гидрофобность и широкий диапазон температур для возможного использования [2].

Назначение и нанесение теплоизоляционных материалов поверх существующих конструкций служит для обеспечения проектных значений теплового потока.

Проведенные расчеты показали, как изменяется температура поверхности изолированной трубы при использовании традиционных материалов и аэрогелей при постоянной температуре окружающей среды (воздуха): использование аэрогеля в среднем снижает значение температуры поверхности в два раза. Если же рассматривать толщину изоляционного слоя, то и здесь видно явное преимущество аэрогеля – толщина слоя уменьшается более чем в два раза. Следовательно, применение такого вида изоляции, как аэрогель перспективно и требует тщательного изучения для более активного внедрения.

Библиографический список

1. Самое легкое твердое вещество в мире - аэрогель (перевед. с китайского). Date Views 11.02.2022 www.cas.cn/kx/kpwz/201910/t20191024_4721381.shtml.
2. Отчет об исследовании свойств аэрогеля (перевед. с китайского). Date Views 11.02.2022 www.doczi.com/doc/b495f072492fb4daa58da0116c175f0e7dd11971.html.

М.К. Тулегенов, студ.; Ж.Ә. Тоқтар, студ.; А.И. Мануленко, студ.; рук. М.В. Ермоленко, к.т.н., (Университет Шакарима, г. Семей)

К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

От выбора теплоизоляционного материала и условий эксплуатации будет зависеть эффективность эксплуатации тепловых сетей. Поэтому актуальность данного направления исследований остается по-прежнему первостепенной [1, 2].

Цель работы - установить влияние условий эксплуатации теплоизоляции на величину тепловых потерь тепловых сетей.

Для решения поставленной цели был проведен мониторинг тепловых сетей.

Измерения температуры поверхности теплоизоляционного слоя тепловых сетей проводись в отопительный период при помощи пирометра DT-380-EN-00.

Достоверность полученных результатов обеспечивается трех-пяти кратной повторностью опытов и обработкой экспериментальных данных математическими методами.

Результаты замеров позволили построить сравнительный график зависимости температуры поверхности и теплотеря от температуры наружного воздуха и различного теплоизоляционного материала. Полученные экспериментальные данные показали, как изменяется температура изолированной поверхности и тепловые потери в зависимости от свойств изоляционного материала. Также установлена закономерность изменения эффективности теплоизоляционных материалов с понижением температуры наружного воздуха.

Нанесение теплоизоляционных материалов поверх существующих изоляционных конструкций воздушных теплотрасс позволяет обеспечить проектные значения теплового потока.

Библиографический список

1. **Карабекова Д.Ж.**, Кисабекова П.А., Нусупбеков Б.Р., Хасенов А.К. Анализ состояния изоляции подземных трубопроводов тепловой сети. Теплоэнергетика. 2021. № 10. С. 82-86.
2. **К выбору** конструкции тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей подземной прокладки в каналах. Нагимова Э.В., Гусячкин А.М. В книге: Тинчуринские чтения. Тезисы докладов XIII молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. 2018. С. 334-336.

Р.А. Асқарбеков, студ.; И.Д. Арчаков, студ.; Д.К. Оразгулов, студ.; рук. М.В. Ермоленко, к.т.н., (Университет Шакарима, г. Семей)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПРИБОРОВ ОТОПЛЕНИЯ

Работа отопительных приборов характеризуется периодичностью в течение года. От того насколько эффективно осуществляется регулирование подачи тепла будет определяться экономичность работы системы отопления. Поэтому рассмотрение вопросов энергоэффективности систем децентрализованного отопления остается актуальной, особенно с учетом роста цен на энергоносители [1, 2, 3].

Цель работы - определение энергетической эффективности системы децентрализованного отопления при различных схемах подключения отопительных приборов.

В результате проведения работы:

- проведен анализ существующих схем подключения отопительных приборов;
- проведено моделирование режимов работы и способов подключения отопительных приборов на экспериментальной установке;
- определены энергетические показатели работы системы.

Новизна полученных результатов заключается в установлении закономерностей изменения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи моделируемых систем отопления от мощности тепловой нагрузки и способа подключения.

Проведение математической обработки экспериментальных данных позволило получить уравнения регрессии, описывающие эффективность работы отопительных систем.

Библиографический список

1. . **Сасин В.И.** Оптимизация количества тепловых испытаний отопительных приборов при их сертификации АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2019. № 1. С. 58-61.
2. . **Манаева Ю.Н.,** Минакова Ю.В., Щеглов С.С., Мершиев А.А Экономическое сравнение узлов обвязки отопительных приборов при проведении капитального ремонта здания. Студент и наука. 2020. № 2 (13). С. 147-151.
3. **Никитина С.В.** Подключение новых отопительных приборов к существующей системе отопления. В сборнике: Приоритетные направления научных исследований. анализ, управление, перспективы. сборник статей Международной научно-практической конференции : в 2 ч.. Ижевск, 2022. С. 47-50.

*В.О. Потемкина, студ.; рук. В.В. Сенников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ «УМНОЙ» СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

В 2021 г. ИГЭУ выполнил экспертизу схем теплоснабжения муниципальных образований Ивановской области. Результаты экспертизы указывают на ряд существенных отклонений от требований [1]. Поскольку эффективно воспользоваться результатами разработок затруднительно, следует обратиться к приведенным ниже документам, чтобы улучшить качество теплоснабжения:

1. Организацию постоянного контроля (мониторинга) за тепловым и гидравлическим режимами работы тепловых сетей от котельных с целью повышения качества теплоснабжения потребителей и экономии тепловой и электрической энергии при производстве, транспортировке и потреблении тепловой энергии [2].

2. В [3] предусматривается обязательная калибровка в контрольных точках системы теплоснабжения расчетных и фактических параметров с точностью 5%.

3. Согласно [4] в России введены ценовые зоны теплоснабжения. Устанавливается предельный уровень цен на тепловую энергию для конечного потребителя.

На основании данных документов были доказаны необходимость и возможность организации постоянного контроля (мониторинга) теплогидравлического режима работы системы теплоснабжения.

Библиографический список

1. **Экспертизы** Схем теплоснабжения городских поселений муниципальных районов Ивановской области. Отчеты НИР / В.В. Сенников, В.В. Смирнов, Н.Н. Пронин и др. / Иваново, ИГЭУ, 2021.

2. **Указания** по контролю за режимом работы тепловых сетей. Отдел научно-технической информации АКХ. – М.: Издательство АКХ им. К.Д. Панфилова. 1987. – 18 с.1.

3. **Постановление** Правительства РФ от 22 февраля 2012 г. №154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения» [Электронный источник] / URL: <http://archive.government.ru/gov/results/18328/> (Дата обращения 13.02.2022).

4. **Федеральный закон** от 29.07.2017 г. № 279-ФЗ.

*Р.Р. Даутов, студ.; рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Проблема повышения энергоэффективности в России всегда остается актуальной. Так, утилизация вторичных энергоресурсов в настоящее время является популярным перспективным направлением в энергосбережении. В работе рассматривается система отопления с воздушным тепловым насосом (ТН), использующим теплоту вентиляционного воздуха в качестве низкопотенциального источника.

Так как большая часть территории России имеет температуру наружного воздуха на уровне ниже -25°C , то применение обычного типа воздушного теплового насоса нецелесообразно из-за низкой эффективности системы. Вытяжной вентиляционный воздух может стать оптимальным вариантом для данных условий. Жилое здание всегда выбрасывает наружу теплый воздух с температурой от $+20$ до $+30^{\circ}\text{C}$ [1].

Система воздушного отопления с ТН работает следующим образом: наружный воздух втягивается вентилятором в наружный блок и прогоняется сквозь испаритель. Циркулирующий по теплообменнику хладагент забирает тепловую энергию и испаряется. Далее в виде газа он попадает в компрессор, где сжимается и повышает давление. В конденсаторе переходит обратно в жидкость, передавая тепло воздуху в здании. Излишнее давление сбрасывается дроссельным клапаном, и цикл повторяется. Система отопления с воздушным ТН будет довольно экономичной, так как в среднем за сезон будет давать 3 кВт тепловой энергии на 1 кВт электрической [2].

Утилизация вентиляционного воздуха позволит значительно сократить тепловые потери, а также даст возможность использовать высокоэффективные теплонасосные системы для индивидуального отопления жилых зданий во многих регионах России.

Библиографический список

1. **Гатауллина И. М.** Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения зданий // Научному прогрессу – творчество молодых. 2018. № 2. С. 71-74.
2. **Ибрагимов У.Х., Аванесов Т.Р.** Утилизация теплоты отработанного газа и воздуха в конвективных сушильных установках с помощью теплового насоса // Молодой ученый. 2021. № 21 (363). С. 31-33.

*Т.М. Вахитова, студ., А.Ш. Низамова, доцент
(КГЭУ, г. Казань)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ, НОМИНАЛЬНЫХ И ФАКТИЧЕСКИХ РАСХОДОВ ТОПЛИВА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛИЩНОГО КОМПЛЕКСА.

Определение расхода топлива на источниках теплоснабжения является одной из главных задач технико-экономического анализа эффективности работы теплоисточника. Проведенный анализ методов определения нормативного, номинального и фактического расхода топлива позволяет выделить особенности их расчета на источнике теплоснабжения, отражает их суть и физический смысл.

Нормативный расход характеризуется как максимально допустимая, но при этом технически обоснованная величина удельного потребления топлива для производства тепловой энергии, другими словами это рациональная допустимая норма потребления топлива на единицу тепловой энергии, отпускаемой в тепловую сеть.

Номинальный расход топлива характеризуется удельным расходом топлива на отпуск тепла, расчет которого выполнен на основе характеристик энергетического оборудования и различных внешних факторах влияния имеющих значение при фактической оценке конкретного оборудования теплоисточника.[1]

Фактический расход топлива *на теплоисточнике характеризуется эмпирической оценкой расхода топлива $V^{пер.комб}$ для обеспечения потребителей тепловой энергией в необходимом количестве и производится в следующем порядке: определяется полезный отпуск тепловой энергии, который необходим для потребителей, к которому суммируется нормативная величина потерь тепловой энергии в магистральных и распределительных сетях, сумма указанных значений составляет отпуск тепловой энергии с коллекторов источника, который умножается на удельный расход топлива, определенный эмпирическим путем.*

Библиографический список

1. **Ваньков Ю.В.**, Ротач Р.Р. Методики оценки энергетической эффективности источников централизованного теплоснабжения // Энергетика и энергосбережение: теория и практика. – 2018. – С. 113.1-113.5.

*А.А. Кряжева, студ.; рук. М.В. Козлова, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИВАЛЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ВОЗДУШНОГО И ГРУНТОВОГО ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

В настоящее время в России одной из главных задач энергетики является повышение уровня газификации регионов. В условиях отсутствия доступа к магистральному газопроводу актуальным становится исследование наиболее эффективных и менее затратных способов теплоснабжения. Одним из вариантов решения данной проблемы будет использование бивалентной системы теплоснабжения на базе тепловых насосов.

В рамках данной работы был выполнен расчёт систем на базе теплонасосных установок «воздух-вода» и «грунт-вода». Поскольку проблема газификации распространена по всей территории России, то исследование проводилось для следующих регионов: Московской, Архангельской, Астраханской, Свердловской областей и для и Приморского края.

В ходе работы была проведена оценка затрат на работу системы отопления и горячего водоснабжения в случае её функционирования на разных источниках энергии (сжиженный газ, дизельное топливо, электричество, и ТНУ с дополнительным источником теплоты). Затраты на работу систему отопления для рассматриваемых вариантов для Московской области приведены на рис.1.

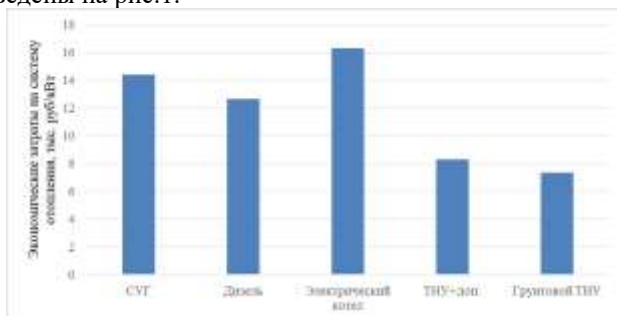


Рисунок 1 – Диаграмма затрат на работу системы отопления для Московской области

Из выполненного анализа следует, что наименьшие затраты характерны для бивалентной системы на базе теплового насоса «грунт-вода».

СЕКЦИЯ 7

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

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

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

*С.А. Волкова, студ.; О.О. Чистякова, студ.
рук. А.М. Демин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПРОДУВКИ БАРАБАННОГО КОТЛА

В работе показаны результаты анализа управления периодической продувкой барабанных котлов и разработки инновационного способа управления клапаном периодической продувки с применением современных микропроцессорных средств управления [1].

Целью работы является повышение точности управления клапаном периодической продувки в регулирующем режиме работы котла путем подачи и прекращения подачи сигналов управления открытием и закрытием клапана через межпродувочный интервал времени, величина которого определяется сравнением текущего количества пара, произведенного за межпродувочный интервал времени, с заданным значением, что косвенно характеризует количество шлама, накопившегося в нижних точках циркуляционной системы за это время.

В условиях переменной нагрузки котла при достижении количеством накопившегося шлама критического значения включают подачу сигнала управления открытием клапана. Клапан удерживают в открытом состоянии по заданию выдержки времени, после чего включают подачу сигнала управления закрытием клапана.

Устройство для осуществления способа управления клапаном периодической продувки позволяет выполнять автоматическое определение межпродувочного интервала времени в зависимости от изменяющегося расхода перегретого пара и осуществлять логическое управление открытием и закрытием клапана. Техническим результатом применения способа и устройства для его осуществления является повышение точности управления клапаном периодической продувки и в регулирующем и в базовом режимах работы котла. Количество продувочной воды за одно открытие клапана и максимально допустимое количество шлама позволяют управлять долей воды, удаляемой из котла с периодической продувкой, повышая экономичность.

Поставлена задача разработки алгоритма для реализации системы на учебном стенде с последующим синтезом методики ее наладки.

Библиографический список

1. Демин А.М. Способ управления клапаном периодической продувки барабанного котла и устройство для его осуществления. – Патент РФ № 2516989 от 27.05.2014.

*Д.А. Коровин, студ.; рук. А.М. Маклецов, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

Автоматизация систем освещения жилых комплексов на данный момент выполняется по ГОСТ Р 58462-2019 [1].

Независимо от типа автоматизации системы освещения состоят из типового комплекта оборудования, которое может быть дополнено функциональным оснащением. Главным компонентом является контроллер управления (в данном случае Siemens S7-1200), который отвечает за прием-передачу дискретных и аналоговых сигналов. Сигналы собираются на физические входы-выходы контроллера, затем происходит передача по одному из каналов связи (Modbus RTU/TCP-IP) на ПК либо АРМ диспетчера для протоколирования событий включения/отключения/аварий. В свою очередь с АРМ либо щита управления можно производить дистанционные команды включения и отключения оборудования.

На рис.1 предоставлена программная часть АСУ фасадным освещением здания жилого комплекса. Алгоритм работы можно описать следующим образом: если щит управления выставлен в автоматический режим, то при условии срабатывания фотореле (датчик освещенности) подается разрешение с выхода контроллера на автоматическое включение освещения.



Рисунок 1 - Блок схема управления фасадным освещением с учетом датчика освещенности

Библиографический список

1. ГОСТ Р 7.0.12-2011 «Автоматизированные системы управления освещением автомобильных дорог и тоннелей»

А.А. Матвеева, студ.; рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.; О.В. Блинов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

АРХИТЕКТУРА И ПРОТОКОЛЫ ОБМЕНА ДАННЫМИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Технологии Интернета вещей (IoT) организуют сбор данных из распределенных источников и объединяют их с существующими системами автоматизации.

Ключевые компоненты Интернета вещей (IoT):

- «Умные вещи», интегрированные с сенсорами. Сенсоры обеспечивают сбор информации в реальном времени.

- Сети и шлюзы. Большой объем данных, создаваемых сенсорами, требует надежной и высокопроизводительной проводной или беспроводной сетевой инфраструктуры в качестве среды, которая обеспечивает совместную работу множества сетей различных технологий и протоколов доступа.

- Платформы Интернета вещей – это программное обеспечение для подключения конечных устройств к облачным серверам и удаленного доступа к ним.

- Приложения Интернета вещей позволяют визуализировать данные, следить за показателями и управлять подключенными устройствами.



Рисунок 1 - Компоненты Интернета вещей

Протоколами Интернета вещей принято считать протоколы, расположенные в верхней части стека протоколов для системы IoT. На остальных уровнях используются технологии, которые уже зарекомендовали себя в сети Интернет. Распространенные стандартизированные протоколы IoT:

- DDS – стандарт межмашинного взаимодействия для обмена данными с использованием шаблона издатель-подписчик;

- CoAP – сетевой протокол с ограничением пропускной способности и доступа к сети, предназначенный для устройств с ограниченной мощностью;

- MQTT – упрощенный сетевой протокол обмена сообщениями по принципу издатель-подписчик, работающий поверх стека TCP/IP для централизованного сбора данных с маломощных устройств.

*А.А. Матвеева, студ.; рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.;
О.В. Блинов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛК С ПОМОЩЬЮ СРЕДЫ CODESYS И VISSIM

Разработка решений, направленных на оптимизацию проектирования математического и программного обеспечения АСУ ТП, является актуальной задачей. Это связано с тем часто возникают задачи проверки алгоритмов управления не на объекте управления, так как это не всегда возможно, а с помощью программных средств. Существуют программные продукты, предназначенные для разработки программного обеспечения ПЛК (программируемых логических контроллеров). Существуют компьютерные программы для имитационного моделирования систем управления с развитой системой математического описания объектов управления. Целью данной работы является демонстрация возможности по интеграции таких приложений на базе OPC сервера, что на наш взгляд может расширять и совершенствовать инструменты разработки ПО контроллерам.

В рамках единого комплекса задействуются следующие программные средства: система имитационного моделирования Vissim (для построения модели объекта регулирования); система класса PC-based controller (для программной реализации алгоритмов управления на языках программирования промышленных контроллеров) 3S-Smart Software® CODESYS®, включая PC-эмулятор ПЛК SP PLCWinN и OPC-сервер.

В результате выполнения данной работы, была разработана технология эмулирования алгоритмов управления теплоэнергетическими процессами, путем моделирования объекта управления и организации взаимодействия модели с симулятором.

Сферы применения полученной технологии:

Благодаря тому, что большинство современных ПЛК программируется на языках МЭК 61131-3, программы, составленные для PLCWinNT, после минимальных изменений и «привязки» к процессу можно загружать в реальные контроллеры.

Учебные цели и проекты по направлениям подготовки, связанным с автоматизацией производства.

Библиографический список

1. Рыбалева А.Н., Николаев Ф.А. Разработка и эмулирование АСУ ТП с использованием программ разных производителей и типов // Вестник АмГУ. – 2014. – Вып. 65. – С.73-82.

*О.С. Рыжиков, студ.; рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.;
О.В. Блинов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ SCADA

SCADA – специализированное программное обеспечение, предназначенное для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. SCADA может являться частью АСУ ТП, АСКУЭ и т.д.

Современные системы SCADA могут получать доступ к данным в режиме реального времени с производственных площадок из любой точки мира. Этот доступ к информации в режиме реального времени позволяет предприятиям принимать основанные на данных решения о том, как улучшить технологические процессы.

Кроме того, современные SCADA обладают возможностями быстрой разработки приложений, которые позволяют пользователям относительно легко разрабатывать приложения, даже если они не обладают обширными знаниями в области разработки программного обеспечения.

Внедрение современных ИТ-стандартов и технологий, таких как SQL и веб-приложения, в программное обеспечение SCADA значительно повысило эффективность, безопасность, производительность и надежность систем SCADA. Например, одним из больших преимуществ использования баз данных SQL с системой SCADA является то, что она облегчает интеграцию в существующие системы MES и ERP, позволяя беспрепятственно передавать данные по всей организации.

Можно выделить следующие характеристики-требования к современной SCADA:

- Поддержка технологий промышленного Интернета вещей;
- Конвергенция информационных технологий (ИТ) и операционных технологий (ОТ);
- Использование открытых стандартов;
- Кроссплатформенность;
- Возможность развертывания в Интернете;
- Функционирование на мобильных устройствах;
- Удаленный мониторинг и управление технологическими процессами;
- Облачные, туманные и граничные вычисления;
- Масштабируемость;
- Кибербезопасность.

*А.А. Сёмин, студ.; рук. Е.К. Торопова, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В современных реалиях пользование возможностями компьютера находится на высочайшем уровне, поэтому все больше и больше различных технологий внедряется в промышленность. Одной из этих технологий является искусственный интеллект (ИИ). По некоторым оценкам к 2035 году технологии на базе искусственного интеллекта могут повысить производительность труда до 40%.

Одним из самых распространенных определений ИИ является способность компьютера обучаться, принимать решения и выполнять действия, свойственные человеку. В настоящее время такого достигнуть не получается. Единственное к чему приблизилась наука – это обучение под конкретную поставленную задачу.

Существует несколько методов обучения ИИ: классическое обучение, обучение с учителем и обучение без учителя. Классическое – это обучение при помощи наипростейших алгоритмов. Такое обучение построено на анализе большого пласта данных и поиска наиболее распространенного ответа на поставленный вопрос. Огромным плюсом такого ИИ является скорость поиска решения, но далеко не всегда результат будет именно тем, который ожидал пользователь. При обучении с помощью учителя ИИ до начала работы уже знает верный результат, а его задачей является найти наибоыстрейший способ получения этого результата. Такой метод часто используется на предприятиях чтобы оптимизировать какой-либо рабочий процесс или сократить затраты на производство того или иного продукта. При методе обучения без учителя ИИ дается огромная база данных, с которой ему и предстоит работать. Его задача в данном методе – распределить все объекты базы данных в множество групп по всем возможным признакам. Такой метод обычно используется в различных аналитических сферах, так как компьютер не выдает конкретного решения поставленной задачи, а лишь предоставляет пользователю массив данных подходящих под его запрос.

Таким образом, использование ИИ на предприятиях и в различных отраслях промышленности – это верное решение для улучшения качества товаров и услуг, оптимизации самого процесса производства и сокращения объема требуемого сырья, однако ИИ никогда не сможет полностью заменить человека. Ведь только человек способен испытать эмоции и принимать решения, опираясь на них.

*А.А. Стрелкин, студ.; рук. Е.К. Торопова, ст. преподаватель
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОИЗВЕДЕНИЕ РАСЧЁТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ В MARLE 7

Лабораторные работы – неотъемлемая часть учебного процесса, содержащая в себе какую-либо основную задачу, связанную с изучаемой дисциплиной, требующая для реализации этой задачи определенных знаний и умений, полученных в процессе прохождения курса. Одной из трудоемких задач, решаемых в процессе обучения, является обработка результатов измерений с многократными наблюдениями в лабораторной работе по дисциплине «Техническая термодинамика».

Целью научной работы является создание работающей программы, которая при минимальном человеческом вмешательстве осуществляет требуемые расчеты в лабораторной работе. Для достижения этой цели была выбрана программа Marle 7. Marle 7 – одна из наиболее распространенных сред инструментальной поддержки организаций вычислений. Данная система компьютерной математики изучается в курсе Спецглавы математики достаточное количество часов, что позволяет комплексно осваивать программу всего учебного курса.

Изначально вводятся необходимые данные о приборе и результаты многократных измерений, выполненных в ходе лабораторной работы. Рассчитывается абсолютная влажность воздуха. Определяется массовый расход сухого воздуха через установку. Для этого программа вычисляет объемный расход влажного воздуха, плотность воздуха, молярную массу влажного воздуха, массовый расход влажного воздуха. Для наглядности и удобства параметры сортируются в порядке возрастания. После этого определяется потери теплоты в калорифере и сушильной камере. В конце программа составляет таблицу расчетных величин процесса сушки.

Недостатком программы является неполная автоматизация, что обуславливается ручным вводом некоторых данных.

Библиографический список

1. **Тетеревков И.В.** Marle в инженерной практике. Основы математического анализа. / И.В. Тетеревков; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново: Б.и., 2014. – 464 с.
2. **Чухин И.М.** Исследование процессов изменения состояния влажного атмосферного воздуха. / И.М. Чухин; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново: Б.и., 2016. – 39 с.

*О.О. Чистякова, студ.; С.А. Волкова, студ.
рук. А.М. Демин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АЭРОСМЕСИ СИСТЕМЫ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ ВЗРЫВООПАСНОГО ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

В работе показаны результаты моделирования АСР температуры аэросмеси для управления процессом сушки взрывоопасного топлива в углеразмольной мельнице с основным и аварийным регуляторами [1], разработки технологической программы и ее отработки на учебном стенде с контроллером Контраст КР-500М, методика наладки инновационной системы.

Целью работы является повышение точности управления при выходе из аварийного режима после превышения температуры аэросмеси выше допустимой в регулировочный путем формирования дополнительного переходного режима работы системы. Далее происходит перевод из него в регулировочный или возврат обратно в аварийный по условиям работы системы регулирования на границе перехода.

Переводы осуществляются по условиям работы. Точность управления заслонками обеспечивается переходом в один из режимов: регулировочный, аварийный и переходный. Это осуществляется за счет определения положений заслонок (состояния ключей МЭО) и формирования сигналов управления в зависимости от величины температуры аэросмеси (статика) и времени стабилизации переходных процессов (динамика).

Система обеспечивает согласованную работу основного и аварийного регуляторов, ведет контроль режима сушки и ограничений в работе заслонок на границе перехода, исключает ложные переходы от одного регулятора к другому. При этом величины заданий регуляторов и блока сравнения вместе с задержкой таймера позволяют отстроиться от колебаний температуры на границе перехода и сформировать требуемые свойства объекта управления.

Поставлена задача выбора алгоритмов из библиотеки контроллера для программы и исследования особенностей методики наладки АСР при реализации изобретения на учебном стенде кафедры АТП.

Библиографический список

1. Демин А.М., Таланов В.Д. Система регулирования температуры аэросмеси углеразмольной мельницы. – Патент РФ № 2606083 от 10.01.2017.

СЕКЦИЯ 8

ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

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

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

*А.А. Баранов, студ.; А.М. Халиева, студ.;
рук. И.Н. Маслов, к.т.н, доцент.
(КГЭУ г. Казань)*

СРАВНЕНИЕ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ УСТАНОВКИ С АБХМ В СОСТАВЕ ПГУ

С вводом нового оборудования такого, как ПГУ, проблема эффективного энергосбережения становится важной составляющей. В настоящий момент при эксплуатации ГТУ существует проблема снижения мощности при повышении температуры окружающего воздуха [1]. Это связано с увеличением затрат на сжатие воздуха в компрессоре ГТУ. Эффективность вложения средств в повышение эффективности и энергосбережения значительно выше, чем строительство новых генерирующих мощностей. Одним из эффективных способов повышения эффективности производства тепловой и электрической энергии является комбинированная выработка тепловой, электрической энергии, а также производство промышленного холода. Для определения наиболее эффективной и менее затратной технологии работы в составе парогазовой установки выбрано сравнение АБХМ и пароконденсационной холодильной машины. Снижение потребления электрической энергии - основное преимущество применения АБХМ [2,3]. В данной тепловой машине охлаждение достигается за счет затрат не электрической (как в чиллере), а тепловой энергии. Тепловая энергия может быть получена из отборов ПГУ, отбора паровых котлов, утилизации пара собственных нужд на тепловой электрической станции. АБХМ могут быть использованы как в составе системы холодоснабжения, так и в системах теплоснабжения. В работе рассмотрено сравнение АБХМ и пароконденсационной установки.

Библиографический список

1. **Mendelev D.I., Maryin G.E., Akhmetshin A.R.** Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Article number: 012099. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012099.
2. **Mendelev D.I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R.** Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. Article number: 05061. DOI 10.1051/e3sconf/201912405061.
3. **Mendelev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R.** The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. FarEastCon 2019. IEEE, 2019. Article number: 8934431. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934431.

*М. Басати Панах, асп.; рук. В.А. Рассохин,
д.т.н., проф.,*

*В.В. Барсков, к.т.н.,
(ФГАОУ ВО «СПбПУ», з. СПб)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ РЕГЕНЕРАЦИИ НА КПД ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

В работе рассмотрен вопрос влияния степени регенерации $\mu = 0 \dots 1$ на КПД газотурбинной установки (ГТУ) TEEDA Иран, за счет установки теплообменника - рекуператора, при степени повышения давления в компрессоре π_k^* от 2 до 20. Проведен расчет тепловой схемы ГТУ по методикам [1, 2]. Обоснован выбор тепловой схемы ГТУ с указанием основных элементов и характерных сечений. Параметры рабочего процесса определяются в характерных сечениях ГТУ. В результате проведения расчетного исследования установлена зависимость КПД ГТУ от степени повышения давления в компрессоре π_k^* и степени регенерации μ . Наблюдается существенное влияние степени регенерации на КПД ГТУ при приближении значений степени регенерации $\mu = 0,8 \dots 1$, что показано на рисунке 1. Теоретически предельные значения максимальных КПД ГТУ при температуре газа перед турбиной $T_0 = 1123\text{K}$ могут приближаться к 0,5.

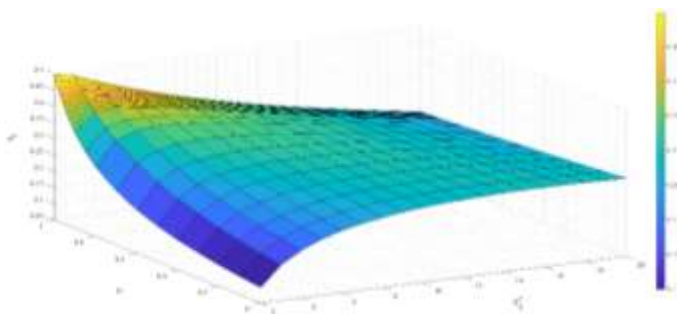


Рисунок 1 – График влияния степени регенерации при разной степени повышения давления в компрессоре на КПД ГТУ TEEDA

Библиографический список

1. **Рассохин В.А.** Расчет тепловой схемы ГТУ: Учебное пособие/ Л.В.Арсеньев, В.А. Рассохин, С.Ю. Оленников, Г.Л. Раков // Ленингр. гос. техн. ун-т. СПб, 1992. – 64 с.
2. **Рассохин В.А.** Расчет тепловой схемы газотурбинной установки: учебное пособие / В.В. Барсков, С. Н. Беседин, Н. А. Забелин и др.; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.— Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2018.

*М. Басати Панах, асп.; рук. В.А. Рассохин, д.т.н., проф.,
В.В. Барсков, к.т.н., (ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. СПб)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТУРБИНЫ НА КПД ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

В работе рассмотрен вопрос влияния охлаждения высокотемпературной турбины на КПД газотурбинной установки (ГТУ) TEEDA Иран. Проведен расчет тепловой схемы ГТУ с открытой системой охлаждения по модифицированной методике, где в качестве охладителя использован воздух, отбираемый от компрессора [1,2]. Результаты на рисунке 1. Для ГТУ с неохлаждаемой турбиной наблюдается максимальный КПД 31,2% при начальной температуре газа $T_0^* = 1177$ К и оптимальной степени повышения давления в компрессоре $\pi_k^* = 18$. В отсутствие воздушного охлаждения КПД ГТУ будет возрастать с ростом температуры газа перед турбиной и достигать значений 40% при начальной температуре газа $T_0^* = 1500 \dots 1600$ К. В ГТУ с воздушным охлаждением турбины при таких температурах максимальный КПД ГТУ уменьшается и достигает значений около 35% за счет отбора воздуха на охлаждение турбины, при оптимальном $\pi_k^* = 30$.

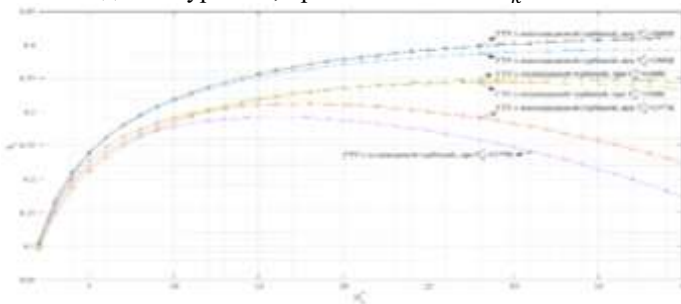


Рисунок 1 – График влияния охлаждения высокотемпературной турбины на КПД газотурбинной установки ГТУ TEEDA

Библиографический список

1. **Рассохин В.А.** Расчет тепловой схемы ГТУ: Учебное пособие/ Л.В. Арсеньев, В.А. Рассохин, С.Ю. Оленников, Г.Л. Раков // Ленингр. гос. техн. ун-т. СПб, 1992. – 64 с.
2. **Рассохин В.А.** Расчет тепловой схемы газотурбинной установки: учебное пособие / В.В. Барсков, С. Н. Беседин, Н. А. Забелин и др.; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. — Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2018.

В. Ч. Чу, асп.; руж В.А. Рассохин, д.т.н, проф., В.В. Барсков, к.т.н., Ю.В. Матвеев, к.т.н.

(ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. СПб)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА СУДОВЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Максимальная эффективность малоразмерных газотурбинных установок (МГТУ) мощностью 30...100 кВт может быть достигнута в регенеративном цикле при значении степени повышения давления в компрессоре (π_k) η_c max меньше, чем в простом цикле без регенерации. Это позволит выбрать для судовой МГТУ одноступенчатый центробежный компрессор с целью снижения массогабаритных показателей. Для проектирования простой МГТУ с целью обеспечения компактности и экономичности установки необходимо выбрать оптимальные параметры цикла МГТУ по схеме с регенерацией на основе вариантного расчета [1, 2] с учетом всех влияющих факторов, в том числе охлаждения турбины. Эффективный КПД МГТУ при высокой степени регенерацией $\mu=0,9$ может быть достигать 38...40%.



Рисунок 1 - Схема к выбору оптимальных параметров цикла расчетной МГТУ

В результате исследования авторами показано, что расход воздуха на охлаждение турбины значительно влияет на показатели МГТУ, особенно при высоких температурах газа перед турбиной. С целью оптимизации параметров цикла регенеративной МГТУ мощностью 30 кВт, была определена максимальная температура газа перед турбиной $T_0=1400\text{K}$, соответствующая не только оптимальной степени $(\pi_k)_{opt}=3...4$, но и выбору материала лопаток турбины, обеспечивающего необходимый ресурс работы МГТУ.

Библиографический список

1. Барсков В.В, Рассохин В.А. [и др.]. Расчет тепловой схемы газотурбинной установки: учебное пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2018. 38 с.
2. **Машиностроение**: Энциклопедия в сорока томах / Н. Н. Виноградов, О. А. Владимирский, С. Н. Гаврилов [и др.]. – Москва : Научно-техническое издательство "Машиностроение", 2015. – 1030 с. – (РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МАШИН; ТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ). – ISBN 978-5-94275-696-3.

*И.Р. Нямба, асп. (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(МЭИ, г. Москва, ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Парогазовые установки (ПГУ) нашли широкое применение в электроэнергетике. Высокие технико-экономические показатели работы ПГУ создали предпосылки к тому, что энергосберегающие мероприятия в процессе эксплуатации в существующих ПГУ практически не реализуются. Стремительное развитие газотурбостроения за последние 10-15 лет привело к тому, что ПГУ введенные в эксплуатацию 15-20 и более лет назад уже не обладают привлекательными технико-экономическими показателями работы. Однако, потенциал по повышению их энергетической эффективности остается довольно большой и в первую очередь связан с совершенствованием работы их технологических схем. Разработка и освоение новых технологий в условиях быстроменяющейся потребности рынка невозможно без глубокой цифровизации реализуемого проекта, в том числе и энергетическом секторе. Особую роль цифровых двойников нельзя переоценить при реализации проектов связанных с внедрением технологий энерго- и ресурсосбережения на вновь проектируемых установках или уже эксплуатируемых [1]. Здесь становится возможным не только оценить технико-экономический эффект от реализации предлагаемых отдельных мероприятий энерго – и ресурсосбережения, но и оценить совместное их влияние на технико-экономические показатели работы установки в целом.

В материалах доклада представлен опыт разработки учебно-научно-техническим центром тренажеров в энергетике ИГЭУ цифровых двойников технологических процессов и оборудования парогазовых блоков, имеющийся в учебно-научно-техническом центре тренажеров ИГЭУ. В настоящее время разработки применяются в тренажерных комплексах подготовки персонала.

Новое направление развитие тематики связано с использованием цифровых двойников для совершенствованных режимов работы технологических схем путем внедрения энергосберегающих мероприятий.

Библиографический список

1. **Энергетическая стратегия** Российской Федерации до 2035 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2020 №1523-р

*Д. И. Демократиа, студ; рук. И.Н. Маслов, к.т.н, доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ГТУ НК-16-18СТ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ИНДОНЕЗИИ

Индонезия - тропическая страна, температура окружающей среды в Индонезии находится в диапазоне 26-40 °С. Условия окружающей среды влияют на производительность цикла Брайтона. Температура выхлопных газов повышается по мере повышения температуры окружающего среды. Результатом является снижение эффективного КПД и вырабатываемой мощности газовой турбины при повышении температуры окружающего воздуха [1,2].

Результаты исследований в области охлаждения входного воздуха газовой турбины были объявлены несколькими исследователями на примере Индонезии. Использование абсорбционной холодильной машины (АБХМ) на ГТУ не предполагает изменений в конструкции основного оборудования, тем самым сводя к минимуму как затраты, так и время на модификацию. АБХМ уделялось больше внимания, поскольку оно может использовать энергию выхлопных газов низкого качества вместо ЭЭ для обеспечения необходимого охлаждения [2,3].

Использование АБХМ в цикл газовых турбин позволяет электростанции в Индонезии работать в соответствии с заданным графиком электрической нагрузки, независимо от температуры окружающей среды, исключая штрафы за недопроизводство. Увеличить мощность газовых турбин на 5.8 МВт и повысить КПД газовых турбин на 4.12 % при температуре 40 °С.

Библиографический список

1. **Mendelev D.I.**, Maryin G.E., Akhmetshin A.R. Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Article number: 012099. DOI 10.1088/1757-899X/643/1/012099.
2. **Mendelev D.I.**, Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. Article number: 05061. DOI 10.1051/e3sconf/201912405061.
3. **Mendelev D.I.**, Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies. FarEastCon 2019. IEEE, 2019. Article number: 8934431. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934431.

*В.Э. Думов, студ. (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю, Григорьев, к.т.н., доц.
(МЭИ, г. Москва, ИГЭУ, г. Иваново)*

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АБХМ В ЦИКЛЕ ПГУ

Развитие ПГУ и увеличение доли их установленной мощности позволяют использовать потенциалы АБХМ для покрытия потребностей холода промышленной и общественной инфраструктуры.

В отличие от всех типов энергетических установок уровень температур низкопотенциального тепла, отводимого из конденсатора парогазовой смеси при всех сезонных тепловых нагрузках, составляет 90–100°C. Установка лучше всех приспособлена обеспечивать системы АБХМ горячим теплоносителем для получения холода без дополнительных затрат при снижении теплоспотребления для нужд отопления, т.е. может работать круглогодично в режимах, близких к номинальному.

Характеристики ГТУ тесно связаны с параметрами наружного воздуха. При повышении температуры воздуха на всасывании в компрессор ГТУ снижается плотность и масса воздуха, следовательно снижается мощность ГТУ. К тому же, повышение температуры снижает степень сжатия компрессора и повышает потребляемую им мощность, что приводит к дальнейшему снижению КПД ГТУ. Каждое повышение температуры воздуха на 1°K приводит к падению мощности примерно на 1%.

АБХМ использует тепловую энергию в качестве греющего источника для нагрева бромисто-литиевой раствора. Благодаря свойствам раствора при его кипении генерируется водяной пар. Охлаждающая вода поступает в теплообменные трубы конденсатора и конденсирует пар в воду. Полученный водный конденсат поступает в высоковакуумный испаритель, резко испаряясь в условиях вакуума, в результате чего температура конденсата снижается до 5 °С. Конденсат температурой 5 °С распыляет на поверхностях медных труб, охлаждает воду системы кондиционирования с 14 °С до 7 °С. Конденсат поглощает тепло из системы кондиционирования и становится паром, который поступает в абсорбер. Концентрированный бромисто-литиевой раствор поглощает пар, чье тепло передается охлаждающей воде и выбрасывается в атмосферу. Вода выпаривается из разбавленного раствора. Концентрированный раствор поглощает пар, образующийся в процессе цикла охлаждения.

*Н.В. Гавина, студ.; рук. Ю.В. Матвеев, к.т.н., доц.
(СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург)*

ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ ГТГ – 1600

Вопрос повышения экономичности и надежности, а также совершенствования турбинных установок является актуальной научно-технической задачей энергетики.

Целью работы является газодинамическая оптимизация проточной части газотурбинной установки ГТГ-1600, необходимая для получения оптимальных параметров данной установки.

В работе представлен газодинамический расчет турбины, из которого получены газодинамические характеристики, проанализировав которые сделан вывод о том, что все параметры находятся в допустимых диапазонах, но значение выходной скорости c_2 имеет высокое значение ($c_2 = 204,504$ м/с), что приводит к большим потерям с выходной скоростью. Выходная потеря тем меньше (а, соответственно, выше значение коэффициента полезного действия), чем меньше скорость c_2 ,

Для того, чтобы оптимизировать значения, был проведен ряд расчетов для газодинамической оптимизации проточной части газотурбинной установки в программе ОРТИ [1]. Из всех проведенных расчетов был выбран тот, в котором были получены наиболее высокие значения КПД, допустимые значения выходной скорости, углов α_1 , а также угла α_2 , обеспечивающего осевой выход. Также в выбранном расчете получено плавное распределение перепадов энтальпий.

Сравнивая полученные значения, сделан вывод, что расчет, выполненный в программе ОРТИ, является приоритетным, так как были оптимизированы многие параметры (получена меньшая по значению скорость выхода потока c_2 ($c_2 = 167$ м/с), что уменьшает потери с выходной скоростью, а также были повышены значения КПД: значение $\eta_{\text{и}}$ увеличено на 2,2%, а значение $\eta_{\text{и}}^*$ - на 2,05%).

Научное значение работы состоит в том, что ее результаты могут быть использованы в качестве начального этапа научных исследований по заданной тематике.

Библиографический список

1. Лапшин К.Л. Математические модели проточных частей в проектировочных газодинамических расчётах осевых тепловых турбин на ЭВМ: учебное пособие. — Изд. 2-е, переработанное и дополненное. СПб: СПбПУ, 2014 – 61 с.

*Д.И. Менделеев, машинист энергоблока ПГУ;
(АО «Татэнерго» КТЭЦ-2, г. Казань)*

ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АНТИОБЛЕДЕНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Сооружение установок комбинированного цикла, таких как ГТУ (газотурбинные установки) и ПГУ (парогазовые установки), стало основной тенденцией развития мировой теплоэнергетики в последние два десятилетия. Вопросов к эксплуатации данных установок достаточно много, и каждый нюанс имеет свою роль.

Так как качество воздуха, а особенно температура очень сильно влияет на показатели работы ГТУ и ПГУ, то очень много исследований посвящено данному вопросу. Однако, большая часть из них связано с летним периодом, так как повышение температуры воздуха снижает полезную мощность и эффективность ГТУ и ПГУ [1,2].

В зимний же период необходимо подогревать воздух в комплексной воздухоочистительной установке, чтобы избежать обледенения фильтров или компонентов газовой турбины.

Однако, влияние регулирования работы антиобледенительной системы на практике куда больше – как и для качества поступающего воздуха, так и для работы газовой турбины – а именно мощности ГТУ. Это связано с изменением температуры на входе в компрессор, что напрямую влияет на мощность.

Поэтому если в летний период ставится вопрос как охладить воздух, чтобы приблизить мощность ГТУ к номинальной, то в зимний период возникает вопрос оптимального регулирования температуры на входе в компрессор с учетом режима работы ГТУ, ограничений по генератору, графиков электрической и тепловой нагрузки, если ГТУ входит в состав ПГУ.

Библиографический список

1. **Менделеев, Д.И.**, Галицкий Ю.Я. Исследование влияния абсорбционной холодильной машины на режимы работы парогазовой установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11, № 4(44). С. 37-46.

2. **Исследование влияния** условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок / Д. И. Менделеев, Г. Е. Марьян, Ю. Я. Галицкий, А. Р. Ахметшин // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24. – № 4(153). – С. 821-831. – DOI 10.21285/1814-3520-2020-4-821-831.

*А.В. Охлопков, В.Д. Битней
(ПАО «Мосэнерго», г. Москва)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Газовая турбина – это многоступенчатая лопаточная машина, в ступенях которой энергия сжатого и нагретого газа преобразуется в механическую работу на валу. Как правило, наиболее уязвимым и ограничивающим элементом турбины является лопатка, так как во время эксплуатации, она одновременно подвергается таким опасным факторам, как высокая температура, агрессивные среды и высокие механические нагрузки, вызванные вращением лопатки с большими скоростями. На сегодняшний день классической технологией производства лопаток является литьё по выплавляемым моделям из хромоникелевых сплавов, например, из сплава Inconel 738 LC.

У классического способа есть определённые минусы:

- длительность рабочего процесса подготовки формы
- относительно высокая стоимость формовочных материалов;
- сложность модельной оснастки;
- повышенное выделение вредных химических веществ в ходе термического удаления модельного вещества.

В ходе работы были произведены рабочие лопатки ГТ с использованием технологии прямого лазерного спекания (DMLS). Испытания образцов проводили в независимой лаборатории «Исследовательский комплекс центра технологического обеспечения» по разработанной «Программе сравнительных испытаний образцов материала Inconel 738 LC, вырезанных из лопаток турбины и полученных по технологии прямого лазерного спекания DMLS». Испытания на растяжения, сжатие, усталость и трехточечный изгиб проводили на сервогидравлической машине UTM-100кН. Испытания на кручение – на сервогидравлической машине ATTS.

Приведенные выше работы позволили ответить на главный вопрос - свойства при растяжении и усталостных испытаниях при комнатной температуре образцов материала Inconel 738LC, полученные по технологии DMLS соизмеримы, а где-то даже превосходят показатели образцов, полученных по классической технологии (литьё по выплавляемым моделям). А это значит, что технологию DMLS вполне можно рассматривать как альтернативу технологии литья по выплавляемым моделям.

*В.А. Павловский; А.И. Суханов, к.т.н., доц.
(ФГАОУ ВО СПбПУ, г. Санкт-Петербург)*

ПРОЕКТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦСД РЕАКТИВНОГО ТИПА

Проблема создания эффективных и надежных паровых турбин является актуальной в современной энергетике. Одно из направлений повышения их эффективности — проектирование проточной части реактивного типа (термодинамическая степень реактивности $\rho_T=50\%$ [1–3]). Опыт иностранных и отечественных фирм доказывает целесообразность создания паровых турбин большой мощности с проточной частью реактивного типа.

Применение реактивного типа проточной части обладает рядом преимуществ перед активным типом: увеличение числа ступеней вследствие меньшего в них теплоперепада дает больший коэффициент возврата тепла [4]; малый угол разворота потока и его ускорение как в сопловом аппарате, так и в рабочем венце позволяет создавать высокоэффективные и устойчивые на переменных режимах профили [1]; конфузорность каналов рабочих решеток и меньшие потери при их обтекании (как профильные, так особенно концевые) [4]; существенно большие по диаметру роторы барабанной конструкции реактивных турбин обычно жесткие. Они мало чувствительны к НЧВ. Прогибы в таких роторах невелики, и даже при переходных режимах зазоры в уплотнениях почти неизменны [4].

В данной работе проведен анализ проектировочного расчета проточной части [1], собраны начальные параметры и граничные условия и сформулированы основные принципы проектирования цилиндра среднего давления (ЦСД) реактивного типа [1–3]; приведен вариант расчета проточной части для реализации возможной модернизации ЦСД паровой турбины серии К–800–23,5.

Библиографический список

1. Щегляев А.В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин: учеб. для вузов: в 2 кн. 6-е изд., перераб., доп. и подгот. к печати Б.М. Трояновским. М.: Энергоатомиздат, 1993. Кн. 1–2
2. Хавакечиан С., Греим Р. [Havakechian S., Greim R.] Аэродинамическое проектирование 50 процентных реактивных паровых турбин // Труды Института инженеров-механиков, Часть С: Журнал машиностроительной науки. 1999. № 213. С.25.
3. Костюк А.Г., Трухний А.Д. Сравнение активных и реактивных цилиндров высокого давления паровых турбин // Теплоэнергетика. 2005. № 6. С. 2-13.
4. Трояновский Б.М. Варианты проточных частей паровых турбин // Электрические станции. 2003. №2. С. 18–22

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

ЦИКЛ R.J.ALLAM ПЕРСПЕКТИВНАЯ РАЗРАБОТКА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Цикл R.J.Allam одна из самых перспективных разработок нашего времени. Представляет собой замкнутый термодинамический цикл, основанный на кислородном сжигании топлива в большом количестве диоксида углерода, это позволяет снизить выбросы в атмосферу, что несет за собой положительный эффект в сохранении экологии для всего мира в целом.

Цикл имеет сверхкритические параметры на входе в турбину: давление и температура на входе около 300 бар и 1150 0С соответственно[1]. Известно, что высокое давление свойственны паровым турбинам, а высокая температура газотурбинным установкам. При этом нужно учитывать, что рабочей средой является диоксид углерода. Это требует внимания при оценке данного теплоносителя.

В настоящее время идет разработка турбины мощностью 300 МВт. Работа была направлена на разработку турбины на диоксиде углерода мощностью 300 МВт. Была проведена оценка теплоносителя и экономических показателей, анализ между циклом R.J. Allam, паротурбинным циклом Ренкина на суперсверхкритические параметры и циклом ГТУ с параметрами рабочей среды перед турбиной 11,5 бар, температурой 1060 °С. Расчет тепловой схемы с помощью программы для расчета теплофизических свойств среды «REFPROP».

На основании полученных данных произвели предварительный, а затем и подробный расчет проточной части турбины R.J. Allam мощностью 300 МВт. Была осуществлена экономическая оценка данного цикла, с ориентированием на существующую разработку с той же мощностью, которая показала, что проект имеет свою место в энергетике по крайней мере с экономической стороны.

В ближайшее время наше внимание будет направлено на разработку вспомогательного оборудования и оценку себестоимости производства электрической и тепловой энергии для нового типа турбины.

Библиографический список

1. **Allam R. J.** et al. High efficiency and low cost of electricity generation from fossil fuels while eliminating atmospheric emissions, including carbon dioxide //Energy Procedia. – 2013. – t. 37. – p. 1135-1149.

*А.М. Тюсин, студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ ТУРБОАГРЕГАТА РАБОТАЮЩЕГО НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

В современном мире стоит проблема выбросов газов в атмосферу. Зная последнюю статистику по выбросам можно заглянуть в будущее и узнать, сколько же будет уходить в атмосферу вредных веществ. В наше время объем выбросов резко вырос, в восьмидесятых годах общая выработка электроэнергии на планете составляла 0,111 ТВт, а в 2015 году – около 1,28 тераватт энергии, дальше, как предсказывают, в 2035 она достигнет 2,47 ТВт, а в 2070 году потребность в электроэнергии вырастет в 4 раза по отношению к современности. Исследования, которые направлены на уменьшение ядовитых выбросов уже ведутся. В частности уже разрабатываются энергетические установки, которые благодаря использованию водорода значительно уменьшают выбросы в окружающую среду [1].

Разработка таких установок работающих на водороде, достаточно сложная задача, так как эти установки должны очень эффективно снижать выбрасываемые газы в атмосферу и при этом они должны иметь высокую экономичность для того что бы соревноваться с газовыми турбинами. Задача такой инновационной установки работать не только на природном газе, но и на смеси природного газа с водородом, а так же на чистом водороде, без каких либо снижений КПД.

Конечно же, в будущем надо будет перейти на стопроцентное использование водорода. И так, суть проекта это получение максимально возможного экологично чистого источника питания на водородной энергии для получения безуглеродного следа. Это предоставит нам возможность сократить выбросы CO₂ в несколько раз.

Данное направление новое и поэтому работа направлена на исследование и разработку высокоэкономичного оборудования для данного вида топлива. Отдельное внимание уделено разработке газовой турбины, где рабочим телом является водород.

Библиографический список

1. **International Energy Agency.** World Energy Outlook 2018. <https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2018>

*А.М. Тюсин, студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ ПЕРЕДВИЖНОГО ТУРБОАГРЕГАТА

В современном мире стоит проблема обеспечения электроэнергией отдаленных участков страны. Зная, что таких отдаленных участков может становиться больше вследствие открытия разного рода месторождений, можно сказать, что передвижные источники энергии будут полезны в современном мире.

Разработка таких передвижных установок позволит быстрее оборудовать электричеством удаленные участки, к которым не целесообразно протягивать стационарное электрооборудование. Это лучшее решение для электроснабжения нефтяных месторождений, удаленного электроснабжения и питания прицепов в промышленности, а также в чрезвычайных ситуациях, таких как стихийные бедствия, где важна быстрая подача энергии. Конструкция с одним прицепом представляет собой полноценную мобильную электростанцию с широким выбором топливного состава. Данное решение создано на основе газотурбинной генераторной установки [1].

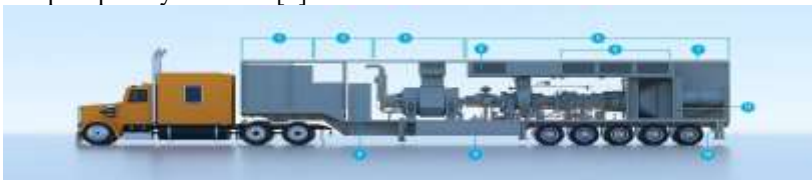


Рисунок 1 - Мобильная турбоустановка.

1. Отсек электрооборудования (ЕЕС); 2. Отсек среднего напряжения; 3. Отсек генератора; 4. Входной фильтр вентиляции генератора; 5. Турбинный отсек; 6. Встроенный воздухозаборный канал и фильтры; 7. Выхлоп; 8. Точка подключения среднего напряжения; 9. Газовая топливная система; 10. Домкрат с автоматическим выравниванием; 11. Вентиляторы вентиляции корпуса.

Отдельное внимание уделено разработке газовой турбины, т.к. она должна быть компактной и не прихотливой.

Библиографический список

1. solar-mobile-turbomachinery.html. World Energy Outlook 2018. <https://www.solarturbines.com>

*Д.Ю. Володин, студ.; рук. В.А. Буданов, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЦНД ТУРБИН АЭС С УВЕЛИЧЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

В связи с бурным ростом энергопотребления и большим износом, как физическим, так и моральным действующего оборудования электростанций существует необходимость интенсивного ввода новых генерирующих мощностей и замены энергоагрегатов выработавших свой ресурс.

Перспективным способом существенного увеличения экономичности и единичной мощности энергоблоков АЭС в ближайшем будущем является использование внешнего, по отношению к ядерной паропроизводящей установке, перегрева пара. Указанное решение позволяет повысить конкурентоспособность АЭС за счет снижения затрат на разработку принципиально нового неосвоенного энергетического оборудования и существенно ускорить ввод новых генерирующих мощностей.

Необходимо проработать вопросы связанные с перегревом пара после ядерной паропроизводящей установки, разработать новую тепловую схему энергоблока, предложить варианты исполнения пароперегревателя. Кроме того, решить вопросы связанные с проектированием новой высокотемпературной паровой турбины большой мощности.

Не смотря на высокие показатели тепловой экономичности гибридных АЭС с водородным перегревом пара, такие электростанции на настоящем этапе развития энергетики вряд ли смогут исправить сложившуюся ситуацию, поскольку основные их элементы - водородная камера сгорания и высокотемпературная паровая турбины являются принципиально новыми агрегатами, не имеющими аналогов ни в отечественном, ни в зарубежном энергомашиностроении.

Библиографический список

1. **Асмолов В.Г.** «Выбор приоритетов и оптимальной стратегии развития атомной энергетики России», Теплоэнергетика, №5, 2009, 2-6

*Д.А. Белянинова, студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЖАРОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ЛОПАТОК ТУРБИНЫ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Газотурбинные установки и двигатели находят все более широкое применение в современной технике: судовые газотурбинные двигатели, энергетические ГТУ и газоперекачивающие агрегаты. К основным деталям, определяющим надежность, экономичность и ресурс их работы, являются рабочие лопатки турбины.

Длительная эксплуатация лопаточного аппарата турбины возможна лишь при условии изготовления рабочих лопаток из жаропрочных сплавов на никелевой или кобальтовой основе.

Химический состав современных жаропрочных никелевых сплавов, определяющий необходимый комплекс свойств материала рабочих лопаток турбины в условиях жестких температурно-силовых нагрузок, не обеспечивает достаточной устойчивости пера лопаток к воздействию агрессивной среды газового потока. Это ведет к высокотемпературному окислению жаропрочных никелевых сплавов, которое существенно ограничивает ресурс рабочих лопаток. Эффективным способом защиты проточной и внутренней поверхностей лопаток от окисления и коррозионного повреждения является нанесение защитных жаростойких покрытий.

Применяемые для защиты лопаток жаростойкие покрытия, при их достаточной стабильности в условиях эксплуатации, могут ощутимо снизить процессы разрушения основного материала детали и обеспечить ее работоспособность в условиях высоких температур.

Библиографический список

1. **П.Т. Коломыцев.** Высокотемпературные защитные покрытия для никелевых сплавов. - М.: Машиностроение, 1991. 146 с.

*Д.А. Белянинова, студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

В настоящее время в котельных агрегатах существует проблема абразивного износа поверхностей нагрева. Абразивный износ заключается в том, что крупные частицы золы, имеющие высокую твердость и остроту граней, при ударах о стенки поверхностей нагрева непрерывно срезают с поверхности микроскопически малые слои оксида металла, постепенно уменьшая в этом месте толщину стенки, а также происходит истирание поверхностей несгоревшими частицами топлива.

В котельных агрегатах для сжигания используют различные виды топлива (газ, уголь, мазут). Для каждого вида топлива есть свои характеристики, но в данном случае играющую роль имеет зольность частиц. Самые высокие показатели зольности принадлежат в основном антрациту, ниже у каменных и бурых углей, у газа и мазута ее не наблюдают.

Проблема абразивного износа достаточно актуальна и нуждается в необходимости поиска способов снижения. К сожалению, отказаться от топлив, имеющих высокую зольность, нет возможности. Так как износ зависит в основном от скорости частиц, то используют увеличение объема котельного агрегата, а также различные защитные накладки, что в свою очередь увеличивает стоимость.

Решение данной проблемы позволит существенно снизить затраты металла на этапе проектирования и затраты в процессе эксплуатации, т.е. ремонта. Также это позволит использовать топливо, имеющее достаточно высокую зольность.

Библиографический список

1. **Е.В. Барочкин**, В.Н. Виноградов, А.Е. Барочкин. Котельные установки и парогенераторы: Учеб. пособие / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2018. 340 с.

*Н.А. Ерехинский, студ. (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(МЭИ, г. Москва, ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБРАЗОВАНИЕ ВЛАГИ В ЭЛЕМЕНТАХ ТУРБИНЫ

Одной из наиболее характерных особенностей расширения пара в некоторых элементах турбин является то, что при переходе из одно- в двухфазную область состояния в конфузорных (ускоряющихся) потоках с большими скоростями и большими абсолютными градиентами давления изменения термодинамических параметров происходит настолько быстро, что при этом не реализуется равновесный процесс конденсации. Температура пара оказывается таких потоках ниже соответствующей температуры насыщения. Разность между местной температурой насыщения и истинной температурой принято называть переохлаждением.

Состояние переохлаждения является нестабильным, т. е. относительно устойчивым только до определенного предела. При достижении максимального для данного случая переохлаждения пар спонтанно переходит в состояние, близкое к равновесному. Новая фаза возникает в виде мельчайших капелек-ядер конденсации. В процессе расширения на этих ядрах происходит конденсация окружающего пара. Возникновение новой фазы происходит в результате столкновения молекул.

Характер и места возникновения влаги в элементах паровых турбин весьма разнообразны: это бурная спонтанная конденсация в ядре потока, конденсация в вихрях, в том числе за выходными кромками сопловых и рабочих и рабочих лопаток, конденсация переохлажденного пара на поверхностях различных элементов, в областях повышенной крупномасштабной турбулентности и др. Другими словами, конденсация пара как правило, наступает в тех местах, где имеется значительное местное переохлаждение пара.

Библиографический список

1. **Б.М. Трояновский**, Г.А. Филиппов, А.Е. Булкин Паровые и газовые турбины атомных электростанций., 1985.

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

ПРИМЕНЕНИЕ СТУПЕНИ БАУМАНА

Известно, что объемный пропуск пара через последние ступени современных ЦНД, т. е. их предельная мощность, ограничивается длиной лопаток последней ступени, которая зависит от прочности и плотности материала лопаток.

Для увеличения пропуска пара через ЦНД при максимально возможной длине лопаток нашла применение известная двухъярусная ступень Баумана.

Лопатки рабочего колеса указанной ступени изготавливаются двухъярусными, в связи с чем делится поток пара на два потока. Наружный поток пара срабатывает в ступени до давления в конденсаторе, а внутренний поток срабатывает еще одну ступень.

Целью исследования является внедрение ступени Баумана в предпоследнюю ступень турбины, имеющие перегородки, разделяющие как сопловую, так и рабочую решетку на два яруса – нижний и верхний. В связи с тем, что расход пара через верхний ярус примерно равен половине расхода через последнюю ступень, такая схема отсека часто называется полуторной. Благодаря этому можно или существенно увеличить расход пара через часть низкого давления турбины и тем самым примерно в 1,5 раза повысить мощность турбины (при том же числе ЦНД), или при тех же расходах пара уменьшить потери с выходной скоростью (примерно в 2 раза), так как потери подсчитываются по суммарной осевой площади последней ступени и верхнего яруса.

Технической задачей исследования является создание более экономичной и технологичной ступени паровой турбины с меньшей веерностью и менее трудоемкой при ремонте.

Предметами исследования являются КПД турбинного агрегата, его мощность, пропускная способность ЦНД, а также срок службы лопаточного аппарата.

Библиографический список

1. **Рубинштейн Я.М.** Исследование реальных тепловых схем ТЭС АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1982. 272с.

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

ВЛИЯНИЕ ТУРБИНЫ НА РАСХОД ТОПЛИВА

Паровые турбины хороши тем, что при увеличении их размеров значительно растёт вырабатываемая мощность и КПД. Экономически гораздо выгодней установить один или несколько агрегатов на крупную ТЭС, от которой по магистральным сетям распределять электричество на большие расстояния, чем строить местные ТЭС с малыми турбинами, мощностью от сотен киловатт до нескольких мегаватт. Дело в том, что при уменьшении габаритов и мощности в разы растёт стоимость турбины в пересчёте на киловатт, а КПД падает вдвое-втрое[1].

Основная задача турбины – загнать больше воздуха в цилиндры, чтобы топливная смесь имела оптимальный состав и во время своего сгорания вырабатывала увеличенное количество энергии. Чем больше получит энергии двигатель, тем он будет производительнее. Турбокомпрессор позволяет повысить мощность на 30-50%, зависит от типа нагнетателя и особенностей конструкции мотора.

Конструктивно турбокомпрессор состоит из 2-х основных частей: компрессора и турбины. Выхлопные газы, попадая в турбину, раскручивают крыльчатку примерно до 15 тыс. об/мин. Эта крыльчатка размещена на валу, соединяющем турбину с компрессором. Вращаясь вал раскручивает и компрессорное колесо. Именно оно нагнетает воздушные массы в цилиндры.

Считается, что турбина уменьшает расход топлива. Справедливо это только для полностью исправного агрегата. Если же имеют место поломки, то количество потребляемого топлива может резко увеличиться.

Библиографический список

1. Рубинштейн Я.М. Исследование реальных тепловых схем ТЭС АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1982. 272с.

*Н.С. Бабанов (ИГЭУ, г. Иваново);
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.
(МЭИ, г. Москва, ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ОСЕВЫХ УСИЛИЙ В ПАРОВОЙ ТУРБИНЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Одной из основных защит паровых турбин, действующих на аварийный останов турбины, является защита по осевому сдвигу ротора. Причиной осевого сдвига являются осевые усилия, действующие на ротор турбины.

При проектировании турбоагрегата на этапе разработки проточной части принимаются решения, направленные на снижение осевых усилий или их частичную компенсацию при различных направлениях действия.

На примере турбины К-160-130 ХТГЗ, представленной на рисунке 1 при однопоточной схеме совмещенного цилиндра ЧВД и ЧНД применены следующие способы снижения результирующего осевого усилия, передаваемого на упорный подшипник:

- разгрузочные отверстия в дисках ЧВД, ЧСД;
- двухпоточный симметричный ЦНД.

Проектное суммарное осевое усилие, действующее на ротор турбины и передаваемое на упорный подшипник должно быть направлено в сторону генератора (право). В этой же стороне находятся и рабочие колодки упорного подшипника, слева находятся установочные колодки.

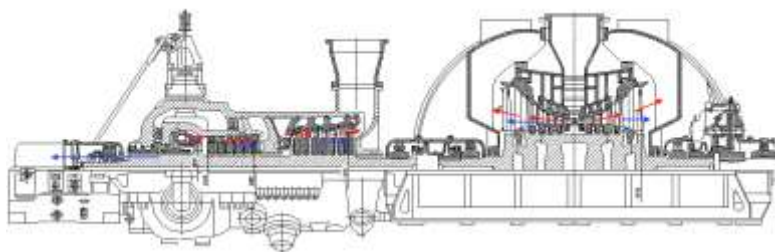


Рисунок 1 – Продольный разрез паровой турбины К-160-130 ХТГЗ, здесь красные стрелки направление движения пара, синие – направления суммарных осевых усилий действующее в характерных местах проточной части

Однако в процессе ввода в работу и последующей эксплуатации на турбинах данного типоразмера наблюдалось изменение направления вектора результирующего осевого усилия в сторону регулятора турбины, при этом наблюдается повышенная температура баббита установочных колодок. [1].

Предложенные заводом решения по стабилизации осевых усилий главным образом связаны с заглушкой разгрузочных отверстий в дисках 6 и 7 ступени и подрезкой кромок сопловых лопаток 2 и 3 ступени ЦВД. Данные решения позволяют главным образом увеличить осевое усилие на роторе в сторону генератора за счет увеличения осевых усилий на дисках из-за роста перепада давлений на них и изменений треугольников скоростей во втором случае, тем самым увеличивая осевые усилия на рабочих лопатках 2 и 3 ступени.

Однако, анализ конструкции проточной части турбины К-166-130 ХТГЗ показывает, что, очевидно, причиной возникновения значительных осевых усилий на роторе турбине лежит конструкция переднего концевое уплотнения и схема его работы.

В отличие от турбин ЛМЗ (ПАО «Силловые машины»), где традиционно применяется петлевая схема конструкции цилиндра высокого давления. ХТГЗ (НПО Турбоатом) применяет крайне неудачную однопоточную схему. В такой схеме на переднее концевое уплотнение приходится значительный перепад давления от давления за сопловой решеткой регулирующей ступени до атмосферного давления. При лабиринтном типе уплотнений на канавках и буртиках ротора накапливаются значительные осевые усилия, направленные в сторону регулятора турбины.

В настоящей работе предложен и рассмотрен ряд дополнительных решений связанных с нормализацией осевых усилий на роторе турбины:

- перевод части переднего концевое уплотнения на прямоточную схему, с последующей перенастройкой системы уплотнения турбины;
- возможность удаления рабочей решетки из проточной части ЦВД.

Дальнейшая работа связана с оценкой изменения осевого усилия от внедрения мероприятий и технико-экономических показателей работы турбины в целом по методике [2].

Библиографический список

1. Информационное письмо №861009 от 19.11.86 г. НПО «Турбоатом»
2. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменный режим работы паровых турбин, М.: Госэнергоиздат, 1955г, 280с.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Тепловые электрические станции

- Большова В.В.* Повышение эффективности вакуумных деаэраторов; *рук. Безруков Р.Е.*4
- Вахитова Т.М.* Определение нормативных, номинальных и фактических расходов топлива на энергетических объектах предназначенных для теплоснабжения жилищного комплекса; *рук. Низамова А.Ш.*5
- Вивчар А.Н., Сердюков В.А.* Правовые проблемы инструментальных и расчетных методов определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; *рук. Сигитов О.Ю.*6
- Водениктов А.Д.* Система мониторинга теплообменных аппаратов ТЭС; *рук. Чичирова Н.Д.*7
- Ленёв С.Н., Перов В.Б.* Технические особенности размещения СПГ-комплекса на ТЭЦ; *рук. Вивчар А.Н.*8
- Львов Д.Д.* Анализ влияния способов модернизации противодавленческих турбоустановок на структуру распределения теплоты, подводимой к турбоустановке; *рук. Киндра В.О.*9
- Мирсалихов К.М.* Натурные эксперименты по определению траектории распространения дымового факела многоствольной дымовой трубы; *рук. Чичирова Н.Д., Грибков А.М.*10
- Молдажанов Р.Е.* Эффективность работы парогазовых установок; *рук. Степанова О.А.*11
- Писарев Д.С., Наумов В.Ю.* Исследование влияния начальных параметров на эффективность углекислотных энергоустановок с пылеугольным котлом; *рук. Рогалев А.Н.*12
- Мечник Д.А., Островский М.А.* Разработка закрытой системы азотного охлаждения для высокотемпературных лопаток турбины кислородно-топливного цикла; *рук. Осипов С.К.*13

<i>Островский М.А., Мечник Д.А.</i> Исследование влияния вида хладагента на эффективность кислородотопливного энергетического комплекса; <i>рук. Осипов С.К.</i>	14
<i>Островский М.А., Мечник Д.А.</i> Исследование влияния высоты лопаточного аппарата первой ступени углекислотной турбины на уровень потерь энергии; <i>рук. Осипов С.К.</i>	15
<i>Паушкина К.К.</i> Характеристики горения капли композиционного топлива в условиях диспергирования при нагреве на поверхностях стали с различной шероховатостью; <i>рук. Глушков Д.О.</i>	16
<i>Садовник В.А.</i> Перечень мероприятий необходимых для сжигания непроектных бурых углей бородинского месторождения в топках котла ТПЕ-214/а; <i>рук. Бойко Е.Е.</i>	17
<i>Умыржан Н.Н., Мануленко А.Н., Умыржан Т.Н.</i> Рециркуляция дымовых газов как способ эффективного регулирования топочного процесса; <i>рук. Касымов А.Б.</i>	18
<i>Барочкин А.Е.</i> Матричное описание теплопередачи в конденсационном котле; <i>рук. Жуков В.П.</i>	19
<i>Гурин Н.М.</i> Увеличение пропускной способности, электрической мощности и тепловой нагрузки турбины Т-110-130; <i>рук. Барочкин Ю.Е.</i>	20
<i>Жуков В.Н., Ракитин В.В.</i> Малая гидроэнергетика в России; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i>	21
<i>Зиновьева А.С.</i> Проблема сведения балансов при обработке экспериментальных данных по парогазовым установкам ТЭС; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	22
<i>Зиновьева А.С.</i> Влияние метода сведения материального и энергетического балансов на фактические показатели ГТУ; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	23

<i>Исаичева А.Л.</i> Реконструкция питательной установки Орской ТЭЦ-1; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	24
<i>Исаков Р.А.</i> Использование системы электрообогрева на закачных мазутопроводах; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	25
<i>Кокулин И.А., Светушков И.И.</i> Повышение эффективности работы ижевских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	26
<i>Кокулин И.А.</i> Распределение нагрузки в системе теплоснабжения; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	27
<i>Кокулин И.А.</i> Рациональность использования конденсационных котлов в малой энергетике; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	28
<i>Колесников В.Р.</i> Анализ эффективности применения гидромурфы в приводе питательного насоса энергоблока с турбиной К-210-130; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	29
<i>Корчагина Е.А.</i> Установка турбодетандера на ГРП Орской ТЭЦ-1; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	30
<i>Краев А.В., Чистяков Д.Д.</i> Развитие гибридной энергетики; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i>	31
<i>Кулаков И.А.</i> Увеличение экономичности ТЭЦ за счёт исключения потерь тепла в конденсаторе; <i>рук. Зорин М.Ю.</i>	32
<i>Гильмутдинова Е.Д., Кутраков П.А.</i> Повышение эффективности работы Сакмарской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	33
<i>Кутраков П.А.</i> Проблема отработанного оборудования утилизация лопастей ветрогенераторов; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i>	34
<i>Лихачева К.А.</i> Энергоблок ТЭС большой мощности. Интерактивное учебное пособие; <i>рук. Панков С.А.</i>	35
<i>Меньшикова А.С.</i> Реконструкция уплотнений РВП с установкой графитовых уплотнений; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	36

<i>Романин П.Д.</i> Перевод на работу с ротором-проставкой ЦНД турбины Т-110-130; <i>Барочкин Ю.Е.</i>	37
<i>Рыженкова Н.А.</i> Разработка мероприятий по реконструкции градирни № 7 Орской ТЭЦ-1; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	38
<i>Скворцов Д.А.</i> Разработка энергетических характеристик турбоагрегата К-210-130 на основе типовой энергетической характеристики; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	39
<i>Смирнов С.А.</i> Методика расчета молотковых мельниц; <i>рук. Шувалов С.И.</i>	40
<i>Собакин Г.А.</i> Оценка эффективности использования систем охлаждения воздуха на входе ГТУ; <i>рук. Панков С.А.</i>	41
<i>Соболев Н.В.</i> Особенности применения ГТЭ-160 в ПГУ утилизационного типа; <i>рук. Зорин М.Ю.</i>	42
<i>Сударкин Е.И.</i> Повышение эффективности работы Сызранской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	43
<i>Трухина К.М.</i> Определение эффективности замены поверхностного пнд-2 турбоустановки К-215-130 на смешивающий; <i>рук. Горшенин С.Д.</i>	44
<i>Услугина С.А.</i> Подогрев сырой воды на ТЭЦ за счет тепла обратной сетевой воды; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	45
<i>Шматалюк М.И.</i> Теплообменные аппараты системы регенерации; <i>рук. Зорин М. Ю.</i>	46
<i>Шматалюк М.И.</i> Проект теплоснабжения левобережья г. Орска; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	47

*Секция 2. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и
промышленных предприятий*

- Гильфанов Б.А.* Комплексная обработка теплоносителей ТЭС; *рук. Чичирова Н.Д.*50
- Романов Д.С., Дорохов К.Ю.* Зажигание и горение стабилизированных топливных суспензий на основе угольного шлама; *рук. Вершинина К.Ю.*51
- Федоренко Р.М., Антонов Д.В., Разумов Д.С.* Изучение цепных механизмов фрагментации композиционных капель и вторичных фрагментов в высокотемпературной газовой среде; *рук. Стрижак П.А.*52
- Ашимов Б.Е., Арчаков И.Д., Болатбеков Е.К.* К вопросу очистки дымовых газов объектов теплоэнергетики; *рук. Степанова О.А.*53
- Дорохов В.В., Романов Д.С.* Антропогенные газовые выбросы при сжигании суспензионных топлив; *рук. Няшина Г.С.*54
- Зайнуллина Э.Р.* Применение карбонатного шлама для очистки обратнoосмотического концентрата ТЭС; *рук. Николаева Л.А.*55
- Савинова А.В.* Оптимизация процесса горения топлива с целью снижения выбросов бензапирена; *рук. Еремина Н.А.*56
- Колесова Е.В.* Очистка трапных вод ПАЭС; *рук. Карпычев Е.А.*57
- Лисова П.А.* Исследование свойств сорбентов для нефтезагрязненных стоков ТЭС; *рук. Еремина Н.А.*58
- Облецова Е.Р.* Ресурсосбережение на стадии кати-онирования ВПУ ТЭЦ-25 ПАО «Мосэнерго»; *рук. Карпычев Е.А.*59
- Воронина Е.В.* Сокращение выбросов оксидов азота на ТЭЦ-26 ПАО «Мосэнерго»; *рук. Карпычев Е.А.*60

<i>Цаплина Т.А.</i> Учет количества образующегося шлама в режиме известкования с коагуляцией; <i>рук. Карнычев Е.А.</i>	61
<i>Спасенкова Е.К.</i> Утилизация сточных вод после химических отмывок оборудования; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	62
<i>Ковалева Т.С.</i> Анализ методов снижения выбросов оксидов азота за котельными установками; <i>рук. Озеров Н.А.</i>	63
<i>Шаляев Е.М.</i> Пленкообразующие амины как основной реагент для ведения ВХР котлов-утилизаторов блоков ПГУ; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	64
<i>Баталова А.А.</i> Органические примеси в технологических водах ТЭС; <i>рук. Чичиров А.А.</i>	65
<i>Валеев А.И.</i> Использование комплексона в системах теплоснабжения; <i>рук. Звонарева Ю.Н.</i>	66
<i>Ахметзянова А.Т.</i> Причины возникновения отклонений качества горячей воды; <i>рук. Чичирова Н.Д.</i>	67
<i>Гапеку М.</i> Анализ отходов водоподготовительных установок мембранного типа; <i>рук. Власова А.Ю.</i>	68
<i>Иваницкий М.С.</i> Образование канцерогенных ПАУ при сжигании органического топлива;	69
<i>Ильина О.А.</i> Возможности применения малоотходных технологий на водоподготовительных установках Пермской ГРЭС; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	70
<i>Лукашова А.Р.</i> Оценка варианта предочистки воды без применения осветлителя; <i>рук. Карнычев Е.А.</i>	71
<i>Кубасова А.М.</i> Консервация барабанных котлов пленкообразующими аминами; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	72
<i>Зотова К.В., Никитина Ю.П.</i> Применение этаноламина для ведения ВХР второго контура АЭС; <i>рук. Ларин А.Б.</i>	73

Зайцев М.А. Повышение эффективности работы электростанций путем коррекции водно-химического режима; *рук. Зайцева Е.В.*74

Васильчикова К.А. Определение необходимой химической очистки прямоточных котлов; *рук. Зайцева Е.В.*75

Логина А.Ю. Разработка математической модели вихревого реактора; *рук. Бушуев Е.Н.*76

Логина А.Ю. Технология частичного умягчения воды с использованием н-карбосильного фильтра; *рук. Бушуев Е.Н., Бушуева Н.В.*77

Носов А.Е. Рассчётное исследование возможности импортозамещения для действующей установки обратного осмоса; *рук. Бушуев Е.Н.*78

Ломакин А.И. Анализ схемы утилизации жёсткого стока на установке нанофильтрации; *рук. Бушуев Е.Н.*79

Дублева А.Е. Анализ опыта эксплуатации осветлителей активфло; *рук. Бушуев Е.Н.*80

Иванова А.В. Система очистки сточных вод металлургического завода; *рук. Зайцева Е.В., Ярунина Н.Н.*81

Охлопков А.В. Биологическая доочистка сточных вод в энергетике; *рук. Битней В.Д.*82

Вивчар А.Н., Сердюков В.А. Правовые проблемы инструментальных и расчетных методов определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; *рук. Сигитов О.Ю.*83

Секция 3. Химия в энергетике

Яшин И.А. О применении некоторых оксидов d- и p-элементов в составе оксидов сцепления; *рук. Гибадуллина Х.В.*86

Чикунев Г.В., Гайнутдинов Ф.Р. Водородные АЗС - режим функционирования; *рук. Гайнутдинова Д.Ф.*87

<i>Шарафутдинов А.Д.</i> Водоробусы – настоящее и будущее; <i>рук. Гайнутдинова Д.Ф.</i>	88
<i>Печенкин А.В.</i> Возможность использования водорода в топливных элементах; <i>рук. Чичиров А.А.</i>	89
<i>Разакова Р.И.</i> Производство водорода в качестве экологически чистого энергоносителя; <i>рук. Гайнутдинова Д.Ф.</i>	90
<i>Лётин К.А.</i> Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике; <i>рук. Ионов А.В.</i>	91
<i>Морозов М.Р.</i> Получение водородного топлива путем электролиза; <i>рук. Ярунина Н.Н.</i>	92
<i>Жирунова Н.И.</i> Показатели качества воды Калининской атомной станции; <i>рук. Хрипкова Л.Н.</i>	93
<i>Кротов А.Г.</i> Хит – как источник энергии; <i>рук. Ярунина Н.Н.</i>	94
<i>Соколова Д.Д.</i> Регенерация ионита в фильтрах «барьер»; <i>рук. Хрипкова Л.Н.</i>	95
<i>Круглов Д.И.</i> Химия в поисках альтернативных источников энергии; <i>рук. Иванова Н.Г.</i>	96
<i>Скорняков А.С., Орлов С.Н.</i> Применение датчика утечки газов на основе программы <i>arduino</i> в обычной жизни и на предприятиях; <i>рук. Иванова Н.Г.</i>	97
<i>Вихрева А.А.</i> Использование химических добавок в пищевой промышленности. Влияние их на экологию; <i>рук. Иванова Н.Г.</i>	98

Секция 4. Теоретические основы теплотехники

<i>Сабанова Е.Н., Наумов В.Ю.</i> Анализ теплоносителей для утилизации низкопотенциальной теплоты; <i>рук. Киндра В.О.</i>	100
--	-----

<i>Праньков Д.А.</i> Исследование тепловыделений управляющих процессоров РЭА; <i>рук. Корочкина Е.Е., Блинов О.В.</i>	101
<i>Фирсов Д.С.</i> Разработка и исследование пассивных систем охлаждения процессоров РЭА с включением наночастиц из углерода; <i>рук. Корочкина Е.Е., Блинов О.В.</i>	102
<i>Черняева И.И.</i> Эксергия, зачем ее придумали; <i>рук. Чухин И.М.</i>	103
<i>Румянцев А.С.</i> Создание онлайн-контента для дистанционного формата обучения; <i>рук. Созинова Т.Е.</i>	104
<i>Смирнов Н.С.</i> Увеличение тепловой экономичности АЭС на насыщенном паре; <i>рук. Чухин И.М.</i>	105
<i>Каримжанова А.О., Умыржан Н.Н., Умыржан Т.Н.</i> Оценка эффективности работы теплообменного оборудования холодильных установок; <i>рук. Ермоленко М.В.</i>	106
<i>Шоронова М.В.</i> Оценка экономии тепловой энергии при утилизации вентиляционных выбросов в рекуперативном теплообменнике; <i>рук. Ракутина Д.В.</i>	107
<i>Шемякина А.Д.</i> Исследование влияния влажности газобетона на теплопередачу через ограждающие конструкции; <i>рук. Ракутина Д.В.</i> ...	108
<i>Верюгин Д.В.</i> Анализ теплового и эксергетического КПД котельной установки; <i>рук. Ракутина Д.В., Пекунова А.В.</i>	109
<i>Рудич А.П., Болотнов В.Г.</i> Исследование осевых скоростей в мульти-вихревом аппарате; <i>рук. Зинуров В.Э.</i>	110
<i>Сулейманов М.Г., Светушков И.И.</i> Автоматизация расчета режимов нагревательных печей; <i>рук. Бухмиров В.В.</i>	111
<i>Попова А.В., Цаплина Т.А.</i> Исследование нестационарной теплопроводности тел простой и сложной формы; <i>рук. Бухмиров В.В.</i> ..	112

- Зиңуров В.Э., Ахунов М.Р.* Определение модели турбулентности для описания газодинамики в классификаторе; *рук. Дмитриев А.В.*113
- Манин Н.Т.* Создание демонстрационной модели двигателя Стирлинга; *рук. Ракутина Д.В.*114
- Владимиров Н.С.* Решение производственной задачи по организации отвода паразитного тепла; *рук. Созинова Т.Е.*115
- Светушков И.И., Гаськов А.К.* Расчет энергетической эффективности термоизоляционных чехлов; *рук. Бухмиров В.В.*116
- Мартынова М.Е.* Оценка влияния толщины кальциевых отложений на надежность работы парогенерирующих труб; *рук. Е.Н. Бушуев.*117
- Удальцова Е.С.* Уменьшение тепловых потерь через оконные конструкции в отопительный период; *рук. Т.Е. Созинова.*118

Секция 5. Промышленная теплоэнергетика

- Косов В.А.* Трубчатые поверхности теплопередачи высокой компактности; *рук. Печенегов Ю.Я.*120
- Нгуен Д.Х.* Экспериментальное исследование процесса торрефикации пищевых отходов; *рук. Степанова Т.А.*121
- Мунин А.П.* Исследование эффективности собственных систем энергообеспечения предприятий переработки нефти с утилизацией ВЭР и выработкой энергетических ресурсов; *рук. Озеров Н.А., Кутьбякина А.В.*122
- Парфенов Г.И., Трухин И.С.* Разработка двухмерной имитационной модели процесса теплопередачи через оконный блок с теплоотражающими экранами; *рук. Тютиков В.В., Смирнов Н.Н.*123
- Потемкина В.О., Корышев А.А.* Экспресс-аудит работы абонентского ввода жилого дома; *рук. Сенников В.В.*124

- Данилова А.В.* Особенности применения геотермальных тепловых насосов; *рук. Баникова С.А.*125
- Парфенов Г.И., Абышкин М.О.* Создание лабораторного стенда по изучению работы ректификационной установки; *рук. Захаров В.М., Смирнов Н.Н.*126
- Соколова Д.В.* Оценка влияния температуры охлаждающей воды на эффективность работы турбины К-300-240; *рук. Банников А.В.*127
- Измайлова Е.В., Гарнышова Е.В.* Определение зависимости собственных частот колебаний поверхностей теплообмена от плотности отложений; *рук. Ваньков Ю.В.*128
- Кувшинова П.А.* Разработка системы газоснабжения жилого района; *рук. Коновалов А.В., Махов О.Н.*129
- Пономарева Д.А.* Особенности формирования микроклимата зрительских трибун катка с искусственным льдом в условиях центрального кондиционирования; *рук. Банникова С.А.*130
- Сагадеева Л.А.* Улучшение свойств минеральной ваты, как теплоизоляционного материала; *рук. Звонарева Ю.Н.*131
- Франтов Н.А.* Анализ энергоэффективности вакуумной сушки древесины; *рук. Коновалов А.В.*132
- Садертинова В.А., Быкова И.А., Кряжева А.А.* Комплексное решение теплоснабжения коттеджа; *рук. Колибаба О.Б.*133
- Кудайбергенов Д.Ж., Касемканов Д.Н., Оразгулов Д.К.* Исследование эффективности конвективной сушки древесины; *рук. Степанова О.А.*134
- Мадышев И.Н., Осипов Р.С.* Моделирование охлаждения воды на вихревой контактной ступени; *рук. Харьков В.В.*135

<i>Фёдоров В.А.</i> Исследование способов охлаждения промышленных электродвигателей; <i>рук. Банников А.В.</i>	136
<i>Волков И.И.</i> Применение гелиотеплонасосной установки для подогрева воды в плавательном бассейне; <i>рук. Банникова С.А.</i>	137
<i>Чуфырин А.В.</i> Программные комплексы для расчета энергетических систем; <i>рук. Махов О.Н.</i>	138
<i>Голованова А.П.</i> Модернизация котельной с водогрейными котлами; <i>рук. Васильев С.В.</i>	139
<i>Урвачев А.В.</i> Повышение эффективности производственно-отопительной котельной; <i>рук. Васильев С.В.</i>	140
<i>Садертинова В.А.</i> Структурный анализ теплового баланса МБДОУ «детский сад №16 «Золотой ключик»; <i>Банников А.В.</i>	141
<i>Урвачев А.В., Киселева Е.М.</i> Повышение эффективности работы мини-ТЭЦ на базе газопоршневой установки; <i>рук. Васильев С.В.</i>	142
<i>Коротаев А.Е.</i> Исследование процесса газификации биомассы для выработки тепловой и электрической энергии; <i>рук. Ярунин С.Н.</i>	143
<i>Козлова М.В.</i> Экспериментальное исследование процесса взаимодействия воздушного потока и нагретой морской воды; <i>рук. Банников А.В.</i>	144
<i>Козлова М.В.</i> Математическое моделирование процесса взаимодействия ненасыщенного воздушного потока и опресняемой воды; <i>рук. Банников А.В.</i>	145

Секция 6. Энергоресурсосбережение

<i>Паушкина К.К.</i> Микровзрывное диспергирование гелеобразных топливных композиций в процессе зажигания и горения; <i>рук. Глушков Д.О.</i>	148
---	-----

- Мясоедов Д.А.* К вопросу о применении отопительного температурного графика в тепловой сети с АИТП; *рук. Смирнов В.В.*149
- Парфенов Г.И., Осипов И.В.* Энергосберегающий эффект от использования экранов в светопрозрачных конструкциях РМЦ АО “ПСК”; *рук. Захаров В.М., Тютиков В.В.*150
- Белоногов М.В.* Газификация смесей торфа и лигнита с растительными жирами; *рук. Егоров Р.И.*151
- Горохова Н.И.* Анализ энергоэффективности выпарных установок с механической компрессией пара; *рук. Ярунин С.Н.*152
- Парфенов Г.И., Быкова И.А., Чернов П.Е.* Исследование эффективности применения теплоотражающих экранов в окнах (на примере мансардного этажа корпуса "Д" ИГЭУ); *рук. Васильев С.В., Смирнов Н.Н.*153
- Лапшова В.М.* Анализ энергетической эффективности использования доменного газа; *рук. Пронин Н.Н.*154
- Мухлаев В.Г.* Применение АБТН для повышения энергетической эффективности ректификационной колонны; *рук. Ярунин С.Н.*155
- Новикова Е.Д.* Повышение энергетической эффективности водогрейной котельной г. Наволоки; *рук. Козлова М.В.*156
- Мануленко А.И., Досумов А.Р., Акынжан А.Е.* К вопросу использования аэрогеля в качестве теплоизолятора; *рук. Ермоленко М.В.*157
- Тулегенов М.К., Токтар Ж. Э., Мануленко А.И.* К вопросу эффективности эксплуатации теплоизоляционных материалов тепловых сетей; *рук. Ермоленко М.В.*158

Аскарбеков Р.А., Арчаков И.Д., Оразгулов Д.К. Эффективность работы приборов отопления; *рук. Ермоленко М.В.*159

Потемкина В.О. Обоснование внедрения «умной» системы теплоснабжения населенных пунктов; *Сенников В.В.*160

Даутов Р.Р. Система отопления жилого здания с помощью воздушного теплового насоса; *рук. Кондратьев А.Е.*161

Вахитова Т.М. Определение нормативных, номинальных и фактических расходов топлива на энергетических объектах предназначенных для теплоснабжения жилищного комплекса; *рук. Низамова А.Ш.*162

Кряжева А.А. Анализ эффективности бивалентной системы теплоснабжения на базе воздушного и грунтового тепловых насосов; *рук. Козлова М.В.*163

Секция 7. Автоматизация технологических процессов

Волкова С.А., Чистякова О.О. Регулирование периодической продувки барабанного котла; *рук. Демин А.М.*166

Коровин Д.А. Автоматизация системы освещения жилого комплекса; *рук. Маклецов А.М.*167

Матвеева А.А. Архитектура и протоколы обмена данными интернета вещей; *рук. Ставров С.Г., Блинов О.В.*168

Матвеева А.А. Исследование программного обеспечения плк с помощью среды CODESYS и VISSIM; *рук. Ставров С.Г., Блинов О.В.*169

Рыжиков О.С. Особенности современных SCADA; *рук. Ставров С.Г., Блинов О.В.*170

Сёмин А.А. Искусственный интеллект в промышленности; *рук. Торопова Е.К.*171

Стрелкин А.А. Производство расчётов лабораторных работ в MAPLE 7; *рук. Торопова Е.К.*172

Чистякова О.О., Волкова С.А. Регулирование температуры аэросмеси системы пылеприготовления взрывоопасного твердого топлива; *рук. Демин А.М.*173

Секция 8. Паровые и газовые турбины

Баранов А.А., Халиева А.М. Сравнение парокompрессионной установки с АБХМ в составе ПГУ; *рук. Маслов И.Н.*176

Басати Панах М. Анализ влияния степени регенерации на КПД газотурбинной установки; *рук. Рассохин В.А., Барсков В.В.*177

Басати Панах М. Анализ влияния охлаждения высокотемпературной турбины на КПД газотурбинной установки; *рук. Рассохин В.А., Барсков В.В.*178

Чу В.Ч. Оптимизация параметров цикла судовых малоразмерных газотурбинных установок; *рук. Рассохин В.А., Барсков В.В., Матвеев Ю.В.*179

Нямба И.Р. Разработка цифрового двойника парогазовой установки; *рук. Григорьев Е.Ю.*180

Демократиа Д.И. Использование абсорбционной холодильной машины на ГТУ НК-16-18СТ для эксплуатации в Индонезии; *рук. Маслов И.Н.*181

Думов В.Э. Возможность применения АБХМ в цикле ПГУ; *рук. Григорьев Е.Ю.*182

Гавина Н.В. Газодинамическая оптимизация проточной части газотурбинной установки ГТГ – 1600; *рук. Матвеев Ю.В.*183

<i>Менделеев Д.И.</i> Вопросы эксплуатации антиобледенительной системы для газотурбинных и парогазовых установок;	184
<i>Охлопков А.В.</i> Сравнительный анализ способов изготовления рабочих лопаток газовой турбины; <i>рук. Битней В.Д.</i>	185
<i>Павловский В.А.</i> Проектировочный расчет проточной части ЦСД реактивного типа; <i>рук. Суханов А.И.</i>	186
<i>Павлычев С.А.</i> Цикл R.J.ALLAM перспективная разработка для снижения выбросов в атмосферу в энергетике; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	187
<i>Тюсин А.М.</i> Создание турбоагрегата работающего на водородном топливе; <i>рук. Виноградов А.Л.</i>	188
<i>Тюсин А.М.</i> Создание передвижного турбоагрегата; <i>рук. Виноградов А.Л.</i>	189
<i>Володин Д.Ю.</i> Разработка ЦНД турбин АЭС с увеличенной пропускной способностью; <i>рук. Буданов В.А.</i>	190
<i>Белянинова Д.А.</i> Жаростойкие покрытия лопаток турбины газотурбинных двигателей; <i>рук. Виноградов А.Л.</i>	191
<i>Белянинова Д.А.</i> Разработка способов снижения абразивного износа поверхностей нагрева котельного агрегата; <i>рук. Виноградов А.Л.</i>	192
<i>Ерехинский Н.А.</i> Образование влаги в элементах турбины; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	193
<i>Ивков Е.А.</i> Применение ступени Баумана; <i>рук. Киселев А.И.</i>	194
<i>Черкашина А.Р.</i> Влияние турбины на расход топлива; <i>рук. Буданов В.А.</i>	195
<i>Бабанов Н.С.</i> Исследование и разработка решений для снижения осевых усилий в паровой турбине в процессе эксплуатации; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i>	196

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

**СЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2022»**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
ТОМ 1**

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 05.05.2021. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 11,1
Тираж 100 экз. Заказ № 112.
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.