

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

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

«ЭНЕРГИЯ-2020»

**ПЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

г. Иваново, 7-10 апреля 2020 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 1

ИВАНОВО

ИГЭУ

2020

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА // Пятнадцатая всероссийская (седьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2020»: материалы конференции. В 6 т. Т. 1. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2020. – 192 с.

ISBN 978-5-00062-419-7

ISBN 978-5-00062-421-0 (Т.1)

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

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

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

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

Члены оргкомитета по направлению: декан теплоэнергетического факультета, к.т.н., доц. **С.Б. ПЛЕТНИКОВ**; зав. кафедрой тепловых электрических станций, д.т.н., доц. **Г.В. ЛЕДУХОВСКИЙ**; зав. кафедрой химии и химических технологий в энергетике, к.т.н., доц. **Н.А. ЕРЁМИНА**; зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики, к.т.н., доц. **А.В. БАННИКОВ**; зав. кафедрой автоматизации технологических процессов, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**; зав. кафедрой теоретических основ теплотехники, д.т.н., доц. **Е.Н. БУШУЕВ**; зав. кафедрой паровых и газовых турбин, к.т.н., доц. **А.Л. ВИНОГРАДОВ**; заместитель декана ТЭФ по научной работе **Н.Н. СМИРНОВ**; техник **Г.И. ПАРФЕНОВ**.

СЕКЦИЯ 1

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Председатель –
д.т.н., доцент **Ледуховский Г.В.**

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

Е.А. Балагурова, студ.; рук. А.И. Вальцева (УрФУ, г. Екатеринбург)
**СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ С УХОДЯЩИМИ
ГАЗАМИ ЗА СЧЕТ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛООБМЕНА
ВОДЯНОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА КОТЛОАГРЕГАТА
ТГ-104**

Современные исследования в области теплоэнергетики направлены на решение актуальных задач для ТЭС - снижение топливной составляющей выработки электрической и тепловой энергии, уменьшение потерь теплоты с уходящими газами и увеличение экономичности существующего котельного оборудования.

На СГРЭС-1 существует проблема отложений на внутренней поверхности труб водяного экономайзера (далее ВЭ) котлоагрегатов. Это приводит к тому, что некоторые котлы СГРЭС-1 работают с повышенными температурами уходящих газов (их фактическая температура оказывается на 2-4°С выше нормируемого значения).

Повысить эффективность использования поверхности котлоагрегата возможно за счет очищения внутренней поверхности труб ВЭ.

Согласно полученным расчетным результатам химическую очистку труб ВЭ необходимо проводить при удельной загрязненности 350-400 г/м² одновременно с трубами испарительных экранов методом «вялой» циркуляции 5-5,5 % раствором ингибированной соляной кислоты, также обработку отмытых поверхностей необходимо производить раствором аммиака для временной защиты от коррозии (до 5 суток).

Предлагаемая схема отмывки экономайзера: НКП → ВЭ → барабан котла → аварийный слив → промывочный бак → НКП (при условии заполненной экранной системы). Во время кислотной промывки пароперегреватель и водяной тракт котла до конденсаторов заполнен питательной водой от общестанционного коллектора.

Схема является дополнением схемы отмывки испарительных труб котла, проста в обслуживании, и ее практическое применение позволит реализовать идею снижения тепловых потерь с уходящими газами котлоагрегата и повысить экономичность производства электрической и тепловой энергии.

Библиографический список

1. **СО 34.37.306-2001** (РД 153-34.1-37.306-2001) «Методические указания по контролю состояния основного оборудования тепловых электрических станций определение количества и химического состава отложений»;
2. **А.С. Горшков** «Технико-экономические показатели тепловых электростанций».

*А.А. Аверьянова, студ.; А.И. Минибаев, соиск.;
рук. А.Д. Водениктов (КГЭУ, г. Казань)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

В современной котельной установке воздухоподогреватель является важной составляющей. Его задача – вернуть в топку котла тепло от дымовых газов, за счет чего повышается КПД котла и станции в целом, поэтому обеспечение безопасной и экономичной работы воздухоподогревателя является актуальной задачей.

По принципу действия воздухоподогреватели делят на рекуперативные и регенеративные. В регенеративных воздухоподогревателях (РВП) теплопередача происходит путем вращения теплоаккумулирующей набивки через газовую и воздушную части. Объектом исследования стали РВП-54 и РВП-68.

Основным показателем, характеризующим качество работы РВП, является величина присосов, которая согласно [1] не должна превышать 25%, в РВП наблюдаются повышенные присосы величиной до 40%. В литературе [2] представлены схемы отсоса перетекаемого воздуха, использующие дополнительный вентилятор. На исследуемом РВП-54 была установлена система отсоса воздуха из пространства между кожухом и ротором. Данная система проста в установке и затраты на её монтаж минимальны, но из-за увеличения перетечек воздуха такая система оказалась неэффективной.

Во время исследования РВП была обнаружена повышенная температура корпуса электропривода, который размещен вблизи кожуха с горячей газовой стороны. Повышению температуры корпуса может служить неудовлетворительная работа периферийных уплотнений. В ходе исследования были произведены замеры давления выбиваемого горячего воздуха и температуры корпуса редуктора до и после регулировки уплотнений. Результаты показали, что снижение статического давления позволило уменьшить температуру корпуса редуктора с 80 °С до 50 °С.

Исходя из проделанной работы можно сделать вывод, что система с использованием дымососа для удаления воздуха является нежелательной, также была установлена причинно-следственная связь между зазорами в периферийных уплотнениях и нагревом электропривода.

Библиографический список

- 1. Правила технической эксплуатации** электрических станций и сетей Российской Федерации (п. 4.3.31).
- 2. Боткачик И.А.** Регенеративные воздухоподогреватели парогенераторов/ – М: Машиностроение, 1978. – 175 с.

*Б.Д. Гемечу, асп.; рук. М.Е. Орлов, к.т.н., доц.
(УлГТУ, г. Ульяновск)*

ГИБРИДНАЯ ГЕЛИО-ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ – РЕШЕНИЕ ДЛЯ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ СПРОСА НА ЭНЕРГИЮ В ЭФИОПСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЕ

В Эфиопии, только около 44,3% домохозяйств имеют доступ к базовому электроснабжению. Производство электроэнергии на душу населения пока составляет менее 150 кВт·ч, а 92% электроэнергии поступает из гидроэлектростанций [1]. Однако из-за быстрой урбанизации и стабильного экономического роста страны ожидается, что годовой спрос на электроэнергию достигнет 111388 ГВт·ч в 2037 г. Рост спроса требует развития неиспользуемых энергоресурсов и повышения эффективности выработки электроэнергии. Геотермальная и солнечная энергия относятся к числу возобновляемых энергетических ресурсов, потенциал которых используется не в полной мере [1]. Предложена и запатентована концепция гибридной тепловой гелио-геотермальной электростанции [2], согласно которой насыщенный пар поступает из геотермальной скважины, а солнечная энергия позволяет перегреть этот геотермальный пар перед паровой турбиной.

Произведена технико-экономическая оценка эффективности гибридной электростанции с использованием геотермальной энергии и прямого солнечного излучения на геотермальном поле Тендахо [3, 4]. Показано, что комбинированное использование солнечной и геотермальной энергии в тепловой гелио-геотермальной электростанции позволяет существенно, до 8%, увеличить ее суммарную мощность. Доказано, что совместное использование энергоресурсов различного происхождения максимизирует экономическую рентабельность гибридной электростанции по сравнению с отдельным использованием солнечной и геотермальной энергии.

Библиографический список

- 1. Гемечу Б.Д., Шарапов В.И.** Перспективы использования природных энергетических ресурсов в Эфиопии // Энергосбережение и водоподготовка, 2018. № 1(811). С. 33–37.
- 2. Патент № 186091 (RU). МПК F24 T50/00.** Геотермальная энергетическая установка / В.И. Шарапов, Б.Д. Гемечу // Бюл. 2019. № 1. 29.12.2018.
- 3. Гемечу Б.Д., Шарапов В.И.** Гибридная тепловая электростанция на основе возобновляемых энергетических ресурсов // Сантехника. Отопление. Кондиционирование, 2019. № 10. С. 70-75.
- 4. Гемечу Б.Д., Шарапов В.И.** Оценка энергетической эффективности гибридной гелио-геотермальной электростанции // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2019. Т. 21. №4. С. 3-11.

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

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Используя воду в быту либо на производстве, она загрязняется минеральными либо органическими веществами. Такая вода называется сточной водой.

Сточные воды – это пресные воды, изменившие после использования в бытовой и производственной деятельности человека свои физико-химические свойства и требующие отведения [1]. Сточные воды классифицируются по происхождению на производственные, бытовые, атмосферные.

Вода в больших количествах требуется на объектах большой энергетики, такие как тепловые электрические станции (ТЭС). Попадая на тепловые электрические станции, вода проходит цех химической водоочистки (ХВО). При регенерации анионитовых фильтров получается высокоминерализованная сточная вода. Для того чтобы не сбрасывать воду в канализацию и не подвергать станцию на большие штрафы за сброс воды с превышением предельно допустимой концентрацией вредных веществ. При переработке есть возможность получения концентрированного щелочного раствора и умягченной частично обессоленной воды. Такими свойствами обладает электромембранный аппарат. Сущность электромембранного метода заключается в направленном переносе диссоциированных ионов (растворенных в воде солей) под влиянием электрического поля через селективно проницаемые ионообменные мембраны.

Целесообразным с точки зрения капитальных и эксплуатационных затрат является нужда ограничиться получением щелочного и солевого растворов на электромембранной установке. Полученный щелочной раствор направляется на регенерацию фильтров. Очищенная вода направляется на подпитку теплосетей или испарителей.

Экономия средств от внедрения этой технологии вбирает в себя и экологическую составляющую, практическое отсутствие сточных вод после регенерации анионитных фильтров, и стоимость щелочи выделяемая из регенерационных стоков и возвращаемая в цикл.

Библиографический список

1. Воронов Ю.В., Яковлев С.В., Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов:–М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006–704 с.

*Н. Гомборазчаа, асп.; рук. К.Э. Аронсон, д.т.н., проф.
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК НА ПАРОВЫХ ТУРБИНАХ ТЭС

В настоящее время в энергетике интерес к конденсационным установкам с воздушным охлаждением (ВКУ) резко возрос в связи с дефицитом охлаждающей воды и ужесточением экологических требований.

Воздушно-конденсационные установки разделяются по способу подачи охлаждающего воздуха на схемы с естественной и с принудительной тягой. В энергетике применяются два типа схем ВКУ: с

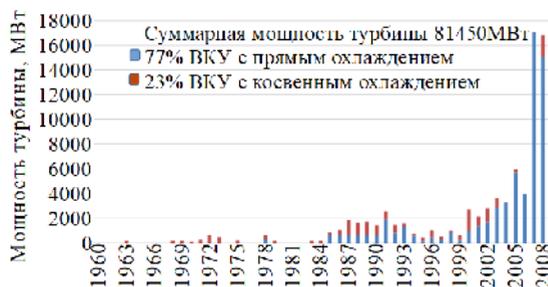


Рисунок 1 - Ретроспектива мощностей вновь вводимых энергоблоков с ВКУ

прямым охлаждением и непрямым или косвенным охлаждением [1].

К настоящему времени наибольшее количество энерго-блоков с ВКУ установлено в Китае (49%), в США (26%) и в Европе (Италия, Испания) (16%). На Россию и другие страны -

Беларусия, Австралия, Южная Америка и Средний восток (трансконтинентальный регион, сосредоточенный в Западной Азии и Египте в Северной Африке) приходится не более 2% энергоблоков с ВКУ (рисунок). В 2015 г. на энергоблоках с ВКУ в 72% случаев использовалось твердое топливо, в 24% - газ, в 4% - солнечная энергия и др[3]. Электростанции наибольшей мощности с ВКУ построены в Южном Африке, которые называются Matimba (4,0 ГВт), Medupi (4,7 ГВт), Kusile (4,8 ГВт), Kendal (4,1 ГВт).

Библиографический список

1. Мильман О.О. Воздушно-конденсационные установки. М.: МЭИ, 2002. 207 с.
2. Chi-Jen Yang. Rapid development of air cooling thermal power and its implications for water resources in China / Rkngguo Sun, Robert B. Jackson /Nicholas School of the Environment, Duke University, Durham, North Carolina 27708, USA
3. SPX Dry Cooling Systems. A leadership in dry cooling technologies. SPX Engineering and Technologies Co. Ltd.

*М.В. Золин, асп.; О.В. Пазушкина, к.т.н., доцент
(УлГТУ, Ульяновск)*

СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ВАКУУМНОГО ДЕАЭРАТОРА В СИСТЕМУ РЕГЕНЕРАЦИИ ТУРБИН

На экономичность работы тепловых электростанций существенно влияют технологии противокоррозионной обработки воды. Вакуумная деаэрация, осуществляемая при минимально возможной температуре, приводит к повышению энергетической эффективности теплоисточников при соблюдении требований качества обработанной воды. На энергетическую эффективность также большое влияние оказывает режим работы теплофикационных паровых турбин. Наиболее экономичными являются режимы с полностью загруженными отопительными отборами и минимальными пропусками пара в конденсатор. В таких режимах работы турбины количество основного конденсата турбины становится недостаточным для охлаждения сальниковых подогревателей, охладителей эжекторов и уплотнений, включенных в линию основного конденсата. Применяемая рециркуляция основного конденсата со сбросом конденсата в конденсатор приводит к существенным потерям теплоты, так как теплота конденсата, поступающего в конденсатор по линии рециркуляции, отдается циркуляционной воде и не используется в цикле электростанции.

Разработана технология вакуумной деаэрации, позволяющая повысить надежность и экономичность работы теплоэнергетической установки [1]. В новой схеме предполагается использовать для охлаждения вспомогательных теплообменников турбины помимо небольшого количества основного конденсата турбины, значительное количество деаэрированной добавочной питательной воды и каскадно сбрасываемого охлажденного конденсата регенеративных подогревателей низкого давления. Кроме того, предусмотрен энергетически эффективный подогрев исходной воды перед вакуумным деаэратором низкопотенциальным потоком конденсата регенеративных подогревателей, который далее используется для охлаждения вспомогательных подогревателей конденсатно-питательного тракта турбины.

Годовая экономия условного топлива на турбоустановке Т-100/120-130 при использовании предложенного решения превышает 8800 тонн.

Библиографический список

1. Шарапов В.И., Пазушкина О.В., Золин М.В. Энергоэффективная схема включения вакуумного деаэраатора в систему регенерации теплофикационной турбоустановки // С.О.К. 2019 № 6. С. 36-39.

*И.Б. Капанович, студ.; рук. В.О. Киндра
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ПОЛУЗАКРЫТОГО ЦИКЛА С КИСЛОРОДНЫМ СЖИГАНИЕМ ТОПЛИВА

Загрязнение атмосферы – одна из важнейших проблем 21-го века. Серьезное опасение вызывает непрерывный рост концентрации углекислого газа, значение которой в 2019 г. превысило 415 ppm.

Снижение выбросов CO₂ от энергетического сектора возможно за счет использования кислородно – топливных энергетических комплексов, простейший из которых – полужакрытый цикл с кислородным сжиганием топлива. С использованием программного пакета AspenONE произведено моделирование полужакрытого цикла мощностью 140 МВт. Установлено, что при начальных параметрах рабочей среды, равных 1400°С и 6 МПа и давлении на выхлопе газовой турбины, равном 0,1 МПа, КПД нетто энергетического комплекса составляет 51,1%. Согласно оценкам, представленным в [1], учет потерь на охлаждение снизит эффективность примерно на 4%. В свою очередь, КПД нетто ПГУ с системой улавливания и захоронения CO₂, работающей при той же начальной температуре, составляет 46%. Таким образом, эффективность полужакрытого цикла с кислородным сжиганием топлива и ПГУ сопоставима. Однако степень улавливания CO₂ для полужакрытого цикла составляет 98,9%, а для ПГУ – 89%. Кроме того, работа кислородно-топливных энергетических комплексов характеризуется отсутствием выбросов оксидов азота и прочих токсичных веществ.

Исследование проведено в НИУ «МЭИ» за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-79-20371 от 28 июля 2017 г.).

Библиографический список

1. Рогалев А.Н., Рогалев Н.Д., Киндра В.О., Зонов А.С., Махмутов Б.А. Исследование экологически безопасных энергетических комплексов с кислородным сжиганием топлива// Новое в российской энергетике. – 2019. – № 8 августа 2019. – С. 6-25.

*Н.А.Кириллова, маг.; рук. С.Р.Саитов, ст. преп.
(КГЭУ, г. Казань)*

РАЗВИТИЕ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

За последние десятилетия малая и альтернативная энергетика приобрела огромную популярность во всем мире. Однако темпы роста малой энергетике в Российской Федерации имеют весьма скромные показатели – 600 МВт электрической мощности в год [1]. Данная динамика свидетельствует о сдерживающих факторах, обусловленных особенностями российской экономики.

Малая энергетика способна решить проблемы энергодефицита во многих регионах страны, а предприятия, создающие собственные источники энергии обеспечивают безопасность своего производства от непредвиденных ситуаций, связанных со сбоем работы централизованного энергообеспечения.

Для повышения темпа развития малой энергетике необходимо:

- Обеспечить благоприятный инвестиционный климат;
- Облегчить налоговую нагрузку на собственников;
- Снизить ключевую ставку по кредитам;
- Гарантировать нерегулируемые тарифы для участников розничного рынка электроэнергии и мощности (РРЭМ);
- Существенно сократить количество инспекционных проверок со стороны различных госструктур: ростехнадзора, респотребнадзора, МЧС и т.д.

Развитие распределенной генерации позволит демонополизировать энергетическую отрасль, и сделает тепловую и электрическую энергию более доступной.

В настоящий момент правительство России неохотно поддерживают малую и нетрадиционную энергетику, поскольку уход потребителей на собственную генерацию приведет к быстрому сокращению финансовой базы единой энергетической системы.

Некоторые эксперты сходятся во мнении, что главная роль в процессе развития малой энергетике должна принадлежать не рынку, а государству [2]. Потому существуют опасения, что единая энергосистема «поглотит» частную генерацию после её развития.

Библиографический список

1. **Официальный сайт** ООО «Энкоств» [электронный ресурс]: URL: <http://encosts.ru/>
2. **Руди Д.Ю.** Перспективы развития малой энергетике в России / Всероссийская научная конференция «Молодежный взгляд в будущее»: сб. мат. докл. Курск, 2018. Т.4. С. 279.

*Н.А.Кириллова, маг.; рук. С.Р.Саитов, ст. преп.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПРОБЛЕМЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОФИКАЦИИ ПРИ НАДСТРОЙКЕ ТЭЦ БЛОКАМИ ПГУ

Современные блоки ПГУ все чаще применяются для расширения и модернизации существующих теплоэлектростанций (ТЭЦ). Благодаря своим высоким технико-экономическим показателям, они позволяют снизить удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии всей станции, а благодаря своим компактным размерам способны вписаться в генплан практически любой ТЭЦ.

В целях экономии, строительство таких блоков осуществляется по типовым проектам, без оглядки на режимы работы, технологические схемы, состояние и экономичность существующего оборудования станции.

Надстройка схемы теплофикации ТЭЦ осуществляется, чаще всего, в виде параллельного включения сетевых подогревателей блоков ПГУ, что приводит к несогласованной работе теплофикационного оборудования, а также к недогрузке и ухудшению режимов работы паровых турбин старой и новой очередей станции [1].

Самый простой способ увеличить производительность теплофикационной установки ТЭЦ при ее расширении блоками ПГУ – параллельное включение новых сетевых подогревателей к старым бойлерам.

Недостатки такого решения:

1. отсутствуют эффективные механизмы регулирования теплофикационной нагрузки;
2. схема не обеспечивает номинальную загрузку ПСГ и основных бойлеров по воде, что приводит к увеличению давления пара в отопительных отборах и снижает эффективность выработки электрической энергии на паровых турбинах.

Таким образом, существует потребность в определении оптимальных режимов работы теплофикационного оборудования старой и новой части станции, при которых суммарный расход топлива станцией будет стремиться к минимуму.

Библиографический список

1. **Чичирова Н.Д., Тюклин В.П.** Технологические схемы и оборудование Казанской ТЭЦ-1: учеб. пособие – Казань: Казан.гос.энерг.ун-т, 2019. – Т.2. – 264 с.

*Я.О. Михалко, асп.; рук. В.В. Шапошников, к.т.н., доц.
(КубГТУ, г. Краснодар)*

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ СХЕМЫ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ПАРОСИЛОВОГО И ПАРОГАЗОВОГО ЭНЕРГОБЛОКОВ

Классическим методом для форсирования паротурбинных блоков является отключение ПВД. Прекращение подачи пара на верхний ПВД увеличивает расход пара на турбину, и как следствие – увеличивает выработку мощности, но приводит к снижению КПД. Поэтому ряд исследований был направлен не на отключение ПВД, а на замещение пара, идущего на него, паром от стороннего источника.

На Краснодарской ТЭЦ предлагается применить схему совместной работы турбоагрегатов паросилового блока и паротурбинной части ПГУ с вытеснением отбора пара ПВД сухим паром из барабана среднего давления котла-утилизатора [1, 2].

По результатам расчетов прирост мощности составил 3,27 МВт, при этом средний электрический КПД брутто вырос на 0,28 %.

Оценка экономического эффекта от модернизации Краснодарской ТЭЦ проводилась по РД 53-34.1-09.321-2002. При условии, что замещение отбора на ПВД будет производиться в период работы на технический максимум (12 ч/сутки). При этом весь прирост электроэнергии будет реализовываться. Реконструкция подразумевает затраты на прокладку паро- и конденсаторпроводов. Затраты на эксплуатацию приняты постоянными, т.к. реконструкция не влияет на дополнительное потребление ресурсов. Результаты оценки экономической эффективности приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты оценки экономической эффективности

Параметр	Величина
Затраты на реализацию проекта, млн. руб.	5,1
Годовой прирост отпуска электроэнергии от К-150-130 млн. кВт·ч/год	40,9
Годовая убыль отпуска электроэнергии от ПГУ-410 млн. кВт·ч/год	26,6
Прирост балансовой прибыли от увеличения отпуска, млн. руб./год	37,4
Увеличение налога на прибыль, млн. руб./год	7,47
Увеличение амортизационных отчислений, млн. руб./год	0,28
Годовой прирост чистой прибыли, млн. руб./год	29,6
Срок окупаемости инвестиций, лет	0,17

Библиографический список

1. Патент на изобретение 2691881 Российская Федерация МПК F01K 13/00, F01K 7/38 Тепловая электрическая станция / В.В. Шапошников, Б.В. Бирюков, А.А. Трофименко, Д.Н. Батъко (РФ). – № 2018124921; заявл. 06.07.18 ; опубл. 18.06.19, Бюл. № 17.

*Я.О. Михалко, асп.; рук. В.В. Шапошников, к.т.н., доц.
(КубГТУ, г. Краснодар)*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫТЕСНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОТБОРОВ ПАРА НА РЕГЕНЕРАЦИЮ В ЭНЕРГОБЛОКАХ

Для повышения КПД паросиловых энергоблоков широкое распространение на электрических станциях получил промежуточный перегрев пара. Но данное решение имеет и негативное воздействие на регенеративную систему турбоустановки. Минус заключается в том, что в типовых конденсационных ПТУ один из отборов пара на подогреватели высокого давления установлен после входа в турбину сильно перегретого пара после промежуточного перегрева пара. Использование теплоносителя с такими высокими параметрами не целесообразно для нагрева питательной воды.

Для замены сильно перегретого пара предлагается его вытеснить паром в идеале сухим от стороннего источника.

На базе Краснодарской ТЭЦ проведен расчет для теоретического обоснования эффективности применения вытеснения отбора на ПВД 2 К-150-130 сухим паром такого же давления (21,1 ата). Результаты расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета вытеснения перегретого пара сухим паром для нагрева питательной воды в ПВД 2

Параметр	Для перегретого пара	Для сухого пара (сторонний источник)
Тепловая мощность ПВД 2, МВт	13,4	13,4
Давление греющего пара на ПВД 2, ата	21,1	21,1
Энтальпия греющего пара на ПВД 2, кДж/кг	3527,1	2799,8
Количество пара на нагрев воды в ПВД 2, кг/с	5,1	7,1
Потенциал выработки электрической энергии потока пара, которого достаточно для покрытия одной тепловой нагрузки на ПВД 2, МВт	5,6	2,8
Разница потенциалов выработки электрической энергии двух потоков, МВт	2,8	

Результаты показывают, что если есть источник менее перегретого пара (идеально сухого), то более целесообразно использовать его для замещения высокотемпературных отборов. А пар высоких параметров не отбирать из турбины используя его высокий потенциал для выработки электрической энергии, при условии, что изменение внутреннего КПД турбины и ухудшение вакуума незначительны.

М.В. Смирнов, студ.; рук. В.О. Киндра (НИУ “МЭИ”, г. Москва)
АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ РАСХОДОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ
НУЖДЫ ЦИКЛА АЛЛАМА

В настоящее время около четверти антропогенного углекислого газа производится энергетическим сектором. Снизить его выбросы при производстве электроэнергии и тепла можно за счет перехода на кислородно-топливные энергетические комплексы, использующие чистый кислород для сжигания органического топлива [1]. В частности, широкую известность получил цикл Аллама, характерной особенностью которого является наличие многопоточного регенеративного теплообменника, полезно утилизирующего теплоту потоков выхлопных газов газовой турбины и горячего сжатого воздуха от воздухоразделительной установки (ВРУ).

По результатам моделирования проведен сравнительный анализ структуры потребляемых мощностей на собственные нужды цикла Аллама и парогазового энергоблока ПГУ-420 с системой улавливания и захоронения диоксида углерода (рис. 1).

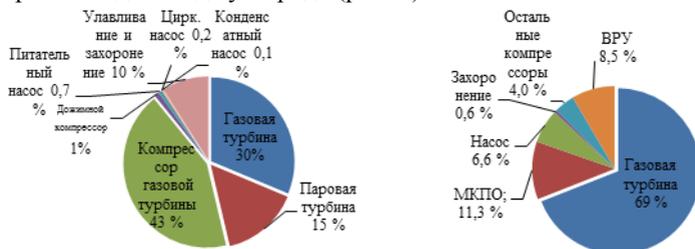


Рисунок 1 – Диаграммы мощностей цикла Аллама и ПГУ-420.

Собственные нужды цикла Аллама составляют 31% от общей вырабатываемой мощности. Причем большая часть энергии тратится на привод многоступенчатого компрессора с промежуточным охлаждением (МКПО, 11,3%) и ВРУ (8,5%). В свою очередь, собственные нужды ПГУ-420 составляют около 55% от общей вырабатываемой мощности, а основные затраты энергии приходятся на компрессор газовой турбины (43%) и систему улавливания и захоронения диоксида углерода (10%).

Библиографический список

1. Киндра В.О., Роголев А.Н., Роголев Н.Д. Кислородотопливные технологии производства электроэнергии с нулевыми выбросами вредных веществ в атмосферу // М.: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2017, с. 110-113.

*А.А. Тимофеев, студ.; рук. Н.Н. Смотров, ассистент
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ БЛОКОВ НА БАЗЕ ПАРОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ, ГТУ, ГТУ-ТЭЦ И ПГУ

В нашей стране на объектах ПАО «Мосэнерго» с 2008-2017 года введены парогазовые энергоблоки мощностью более 2,9 ГВт. Широкое применение парогазовых установок (ПГУ) обусловлено их высоким КПД, который уже сейчас достигает 60%. Данное достоинство предопределило выбор генерирующих компаний в пользу установки блоков данного типа на реконструируемых и вновь возводимых ТЭЦ. Так же среди новых генерирующих установок на электрических станциях широкое применение нашли газотурбинные установки (ГТУ) и ГТУ-ТЭЦ.

Целью данной работы является сравнительный анализ надежности генерирующих установок сопоставимой мощности с учетом технологической части. Расчет надежности проводился по методике, приведенной в [1] на основе параметров надежности [2]. В качестве расчетных событий, вызывающих отключение генерирующей установки, рассматривались одиночные отказы и плановые ремонты оборудования. Результатом расчета является эквивалентная продолжительность отключения (SAIDI).

Таблица 1 – Сравнение результатов

	Паросиловая установка (Т-220)	ГТУ (GT26)	ГТУ-ТЭЦ (GT26+КУ)	ПГУ (ГТ-165+Т-70)
SAIDI, ч/год	1764	835	1292	1726

Итоги расчетов, приведенные в табл. 1, показали, что самым надежным видом генерирующей установки, среди рассмотренных, является ГТУ индивидуального использования. Эквивалентная продолжительность отключения ГТУ на 54.74 % меньше, чем у ГТУ-ТЭЦ и в два раза меньше, чем у паросиловой установки и у ПГУ.

Библиографический список

- 1. Трубицын В.И.** Надежность электростанций: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 240 с.
- 2. Непомнящий В.А.** Надежность оборудования энергосистем. – М.: журнал «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2013. 196 с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Использование динамических сепараторов в системах пылеприготовления ТЭС облегчает регулирование тонины помола топлива в широком диапазоне и позволяет снизить затраты энергии на подготовку топлива. В последние годы возникла потребность в разработке отечественных конструкций динамических сепараторов для энергетики.

Отработка оптимальной конструкции аппарата возможна на основе численного моделирования.

На основе обобщения опытных данных, полученных при испытании промышленных образцов динамических сепараторов различной конструкции и при работе на различных материалах (каменных углях и цементе), создана база для верификации компьютерных программ.

Для численного исследования работы сепаратора был выбран программный комплекс ANSYS FLUENT, который широко используется для решения аналогичных задач.

Валидация расчётных моделей по экспериментальным данным показала удовлетворительное согласование расчёта с опытом (расхождение данных – в пределах опытного определения величин) [1].

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

По результатам исследований на основе теории подобия предложена инженерная методика выбора основных конструктивных размеров динамического сепаратора для пылесистем ТЭС.

Результаты работы приняты для внедрения в проекты перспективных конструкций динамических сепараторов в ОАО «НПО ЦКТИ» и АО «ТЯЖМАШ» (г. Сызрань).

Библиографический список

1. Титов Д.А. Исследование работы динамического сепаратора пыли на основе численного моделирования / Д.А. Титов, К.А. Григорьев, Н.С. Клепиков, А.П. Парамонов, А.В. Штегман // Электрические станции. 2018. № 3 (1040). – С. 17–21.

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

ОБ УМЕНЬШЕНИИ СКОРОСТИ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ ТРУБОПРОВОДОВ В СИСТЕМАХ ВОЗВРАТА КОНДЕНСАТА ОТДАЛЕННЫХ ВНЕШНИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЭС

В системах возврата конденсата пара отдаленных внешних потребителей ТЭС необходимо обеспечить защиту металла от коррозии и за счет этого выполнить нормативные требования по концентрации соединений железа в поступающем на электростанцию конденсате. В таких системах отсутствует возможность использования эффективных струйно-барботажных термических деаэраторов, но применимы малогабаритные деаэраторы перегретой воды, например кавитационно-струйные (ДКС). Требуется выбрать рациональный вариант реализации такого технического решения и оценить его эффективность.

Для решения поставленных задач в рамках исследования разработана математическая модель ДКС, которая позволяет определять показатели эффективности деаэрации воды при изменении режимных параметров устройства. На основе этой модели составлено математическое описание различных вариантов установки ДКС в рассматриваемой системе. Проведена серия вычислительных экспериментов, по результатам которых обоснован вариант установки ДКС по схеме рециркуляции через бак сбора конденсата.

Для выбранного варианта реализации технического решения получено математическое описание, позволяющее определять требуемую производительность деаэраторов и кратность рециркуляции воды через них, необходимую в каждом режиме работы системы.

Оценка эффективности предложенного технического решения выполнена на основе разработанного математического описания с привлечением известной математической модели коррозионных процессов в трубопроводах возврата конденсата пара внешних потребителей и опорой на экспериментальные данные по реальной ТЭЦ. Выявлено, что в большинстве режимов работы системы удастся обеспечить выполнение нормативных требований по массовой концентрации продуктов коррозии в возвращаемом на ТЭС конденсате (100 мкг/дм^3), в то время как без применения ДКС эта концентрация превышала нормативное значение в 8-10 раз. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых и повышении эффективности существующих ТЭС, осуществляющих отпуск пара внешним потребителям.

Ю.А. Беляева, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ТУРБИНЫ, ВКЛЮЧЕННЫЕ В ХОЛОДНУЮ ЛИНИЮ ПРОМПЕРЕГРЕВА

В тепловых схемах блоков в мире имеется большое разнообразие типов приводных турбин питательных насосов (ПТН) и места их подключения к отбору пара из главной турбины. Рассмотрим схему (рис. 1) когда приводная турбина, *имеющая регенеративные отборы*, подключена к линии промежуточного перегрева пара, а пар из её отборов и выхлопа поступает в регенеративные подогреватели, что позволяет отказаться от части отборов пара из ЦСД главной турбины

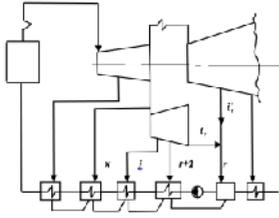


Рисунок 1 - Приводная турбина с регенерацией, работающая на холодном паре.

и направить в схему регенерации более холодный пар из ПТН, что упрощает как ЦСД, так и ПВД. Кроме того, в ЦСД главной турбины существует нейтральная точка с давлением p_j , эффективность отбора пара из которой такая же как из холодной линии перегрева, поэтому обычно всю тепловую нагрузку переносят на ступень регенерации x . В схеме с ПТН (рис. 1) более эффективно использовать пар при давлении p_j из ПТН,

устанавливая дополнительную ступень регенерации j , а это позволяет выполнить все ПВД конструктивно одинаковыми. Отметим, что ПТН по рис. 1 имеет предельное противодавление p_r , когда эффективность отбора пара из её выхлопа оказывается равной эффективности отбора пара из главной турбины при том же давлении p_r :

$$h'_r - h_r \geq \frac{1 - \eta}{1 - e_r} \Delta h^{nn},$$

где e_r – коэффициент изменения мощности для ступени подогрева r ; η – внутренний абсолютный КПД цикла; $h_r, h'_r, \Delta h^{nn}$ – энтальпии пара в соответствии с рис. 1.

Если тепловой перепад ПТН ($H_i = h_x - h_r$) ограничить энтальпией h_r при давлении p_r , то мощность ПТН может оказаться недостаточной ($N_{ПТ} \neq N_{ПН}$). Нами было просчитано и показано, что устранить этот недостаток можно переключив ПТН на вышестоящий отбор пара из ЦВД, или применив двухцилиндровую ПТН, добавив на её вал конденсационный цилиндр, подключенный в линию перепуска пара из ЦСД в ЦНД главной турбины, что позволяет получить высокоэкономичную и маневренную ПТН.

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

РАСЧЕТ ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПАРООХЛАДИТЕЛЯ ДЛЯ ТУРБОУСТАНОВОК ТИПА ПТ

С целью снижения удельного расхода тепла брутто на выработку 1 кВт·ч электроэнергии для турбоустановок типа ПТ, имеющих отбор пара на производство, существует возможность использования комбинированного вынесенного пареоохладителя (ВПО) на потоке пара из производственного отбора. Рационально этот отбор совместить с отбором пара на подогреватель

(ПВД-5), который также подключен по пару к производственному отбору турбоустановки. Главной особенностью данной схемы (рис. 1) является то, что часть теплоты перегрева пара из производственного отбора воспринимается всем потоком питательной воды, а остальная часть воспринимается только частичным потоком, отбираемым с выхода ПВД-5. Эффективность предложенной схемы относительно эталонной схемы с пареоохладителем, встроенным в корпус подогревателя (ПВД-5), была оценена методом коэффициентов изменения мощности [1] при условии постоянного расхода тепла в конденсатор турбины – $Q_k = \text{const}$.

В результате проведенного расчета было определено, что годовая экономия условного топлива для схемы (рис. 1) составит $\Delta B = 2440.7$ т у.т./год при числе часов использования установленной мощности $\tau = 6500$ ч/год, а относительное снижение удельного расхода тепла брутто на выработку 1 кВт·ч электроэнергии – $\delta q_r^{\text{бр}} = 0.644$ %.

Таким образом, применение комбинированного ВПО позволяет существенно повысить экономичность существующих ТЭЦ.

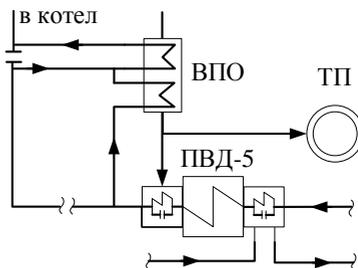


Рисунок 1 - Схема использования комбинированного пареоохладителя: ВПО – вынесенный пареоохладитель; ТП – тепловой потребитель; ПВД – подогреватель высокого давления.

Библиографический список

1. Рубинштейн Я.М. Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС. М.: Энергоиздат. 1982. 272 с.

*К.А. Вилл, А.С. Вышкин, студ.; рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Рассматривается возможность повышения эффективности работы оборудования ТЭС за счет замены стандартных газовых горелок на современные, использующие струйно-нишевую технологию сжигания топлива. Установка этих горелочных устройств позволит более качественно подготавливать топливную смесь (природный газ-воздух), а также расширить диапазон регулирования котлоагрегатов.

Достоинствами данного мероприятия являются:

1. снижение удельных затрат топлива за счет оптимизации топочного процесса, снижения потерь тепла и повышения КПД;
2. поддерживать устойчивость пламени при любом давлении газа;
3. снижение удельных затрат электроэнергии на привод тягодутьевых средств до 20% за счет низкого аэродинамического сопротивления горелочного устройства;
4. снижение уровня выбросов токсичных веществ NO_x , CO за счет повышения качества сгорания и снижения потребления газа;
5. работа в широком диапазоне давления газа (низкое до 500 мм.в.ст, среднее до 2500 мм.в.ст.);
6. высокая равномерность распределения температурного поля в топочном пространстве;
7. снижение звукового давления (уровня шума) до 75 – 79 Дб.

Дополнительный эффект может быть достигнут за счет установки автоматизированной запорной арматуры на газопроводе и ЧРП на дутьевом вентиляторе и дымососе:

1. автоматическую подготовку котлоагрегата к розжигу;
2. автоматический розжиг горелок котла с переходом в режим минимальной мощности;
3. управление нагрузкой и оптимизация соотношения топливо-воздух каждой из горелок котла;
4. управление тепловым режимом котла;

В качестве примера возьмем Березниковскую ТЭЦ-2, которая расположена в Пермском крае. При реализации мероприятия на одном из котлов ТГМ-96 экономия природного газа при замене горелок составит от 3 до 6 % в зависимости от режима работы котла. Дисконтированный срок окупаемости проекта при условии постоянной загрузки котла выше 70 % от номинальной составит 2,7 года.

*Н.С. Галкина, маг.; рук. Е.В. Зиновьева, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В экономически развитых странах мира активно внедряются технологии освоения альтернативных источников энергии. Одним из таких направлений является ветроэнергетика. В настоящее время в ветроэнергетике широкое применение получили два типа ветроустановок: горизонтально-осевые и вертикально-осевые. Оба типа установок имеют как свои преимущества, так и недостатки.

Наибольшее распространение получили горизонтально-осевые ветроэнергетические установки (ГО ВЭУ), по причине просты в использовании и ремонте. Однако негативным фактором, влияющим на эффективность работы ГО ВЭУ является меняющееся направление ветра. Для компенсации этого негативного влияния используются механизмы и системы ориентации на ветер [1], что усложняет конструкцию и приводит к удорожанию этого типа ветроустановок.

В отличие от ГО ВЭУ вертикально-осевые ветроэнергетические установки (ВО ВЭУ), имеющие вертикальную ось вращения ветроколеса, не зависят от направления ветрового потока [1].

Следует отметить, что энергетические возможности ветроустановок в значительной мере зависят от скорости ветра. Причем средняя скорость ветра у поверхности Земли имеет порядка 8 м/с.

При использовании ВО ВЭУ электроэнергию можно получать уже при небольших скоростях ветра (3–5 м/с), а ГО ВЭУ могут обеспечивать необходимую номинальную мощность, только при более высоких скоростях ветровой нагрузки [2].

Таким образом, ГО ВЭУ наиболее производительны при больших мощностях и в местности, где скорость ветра превышает отметку 12 м/с, а ВО ВЭУ способны генерировать энергию при малой скорости ветра и небольшой мощности (до 10 кВт).

Библиографический список

- 1. Валентей, О.А.** Основные типы ветроустановок /О.А. Валентей, О.А., Артамонова Е.Ю., Шепелев А.О.// Актуальные вопросы энергетики: мат. Междунар. науч.-практ. конф. Омск: Омский государственный технический университет, 2017. С. 111–114.
- 2. Рогозина, Д. А.** Проблемы и перспективы развития ветроэнергетических установок в России / Д.А. Рогозина, Т.С. Хворова, Д.М. Жиленко [и др.] // Молодой ученый. — 2016. — №22.3. — С. 40-43

*Д.В. Горшков, студ.; рук. Г.Г. Михеев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ СЕПАРАТОРА ПЫЛИ

Центробежные сепараторы пыли, применяемые в пылесистемах с шаровыми барабанными, молотковыми, среднеходными мельницами, эффективность разделения мельничного продукта в таких сепараторах недостаточно высока. Попадание в готовую пыль значительного количества недомолотых крупных частиц вызывает большую потерю тепла с механическим недожогом, сепарацию пыли на под топки, шлакование поверхностей нагрева. С другой стороны, значительная часть мелкой пыли, попадая с возвратом в мельницу, частично балластирует ее и вызывает снижение производительности мельницы и повышение удельного расхода энергии на размол. Для повышения эффективности разделения предлагается реконструкция серийных сепараторов ТКЗ-ВТИ.

Реконструкция состоит в следующем: радиальный лопаточный аппарат заменяется аксиальным аппаратом; выходной патрубок поднимается заподлицо с верхней крышкой; устанавливается верхняя крышка внутреннего корпуса, образующая с внутренним корпусом кольцевую щель; крышка подвешена на регулируемых тягах с целью грубого регулирования тонкости готовой пыли за счет изменения радиальных скоростей смеси в зоне сепарации второй ступени

В новом сепараторе принципиально изменяется механизм разделения, о чем свидетельствует распределение возврата по течкам наружного и внутреннего корпусов. Если в серийном сепараторе через них выводится соответственно 25 и 75 % возврата, то в новом аппарате через течку наружного корпуса эвакуируется 90÷95 %. Это вызвано не только интенсификацией работы первой ступени сепарации, но и тем, что основная доля грубого продукта, выделенного во второй ступени, проходит через первую ступень, подвергаясь интенсивному провеиванию восходящим потоком воздуха. Для повышения эффективности работы первой ступени установлены обечайки для провеивания возврата. Обечайки выполнены коническими, установлены, на внешней поверхности конической части внутреннего корпуса и внутренней поверхности конической части внешнего корпуса [1].

Библиографический список

1. Патент РФ на полезную модель №133027, БИ №28, 2013. Центробежный классификатор / Шувалов С.И., Михеев Г.Г., Татаринов Н.А. Асташов Н.С.

*Т.Е. Губанова; А.Е. Хромов; рук. М. В. Мошкарина, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РОЛЬ ПРЕДПРИЯТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ В ЭКОНОМИКЕ ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Первым электрифицированным городом на территории Ивановской области считается Шуя. В 1909 году, Шуя имела свою электростанцию. К 1912 году число электрических установок в Иваново-Вознесенске достигло 20 единиц. В декабре 1910 г. в Иваново появилось освещение. 1919 г. - первый план электрификации. 5 окт. 1930 г. построена ИвГРЭС. В период ВОВ электроэнергетика области находилась в состоянии дефицита. В период с 1949 по 1954 годы строилась ТЭЦ-2. В декабре 1976 г. пущен в эксплуатацию первый блок Ивановской ТЭЦ-3. В сентябре 1988 создано Ивановское ПОЭиЭ «Ивэнерго». В 2005 году Ивановская сетевая компания стала ОАО «Ивэнерго». В 2011 г. открылась новая подстанция «Ивановская- 15».

Электроэнергетика как Ивановской области, так и города в частном имеет полноценную функционирующую структуру. На сегодняшний день Иваново в секторе генерации насчитывает 3 теплоэлектроцентрали, 2 тепловые электростанции и 1 котельную. Самыми мощными электростанциями являются «ТЭЦ» 3 (330 МВт) и «Ивановские ПГУ» (325МВт). Сектор генерации находится в распоряжении Ивановского филиала ПАО «Т Плюс» – крупнейшей российской частной компания, работающей в сфере электроэнергетики и теплоснабжения. За роль распределения отвечает филиал «Ивэнерго». Сектор сбыта разделяют ООО "Ивановоэнергосбыт" ООО «Энергосбытовая компания Гарант». На рынке поставщиков находится 49 специализированных компаний.

Мы живём в эпоху быстроразвивающихся экономических рыночных отношений. На данный момент промышленность в г. Иваново находится в упадке по сравнению с прошлыми заслугами нашего края, что непосредственно связано с энергетической отраслью. Ивановской области необходимо воссоздавать крупные производства, в следствии чего на рынке энергопотребления появятся крупные клиенты. А энергокомпаниям следует развивать клиентоориентированность для населения и частных потребителей. Это должно проявляться в первую очередь в виде грамотно рассчитанных лояльных тарифов, налаженным контактом с клиентской базой и правительством, а также современным технологическим развитием.

*М.С. Карнаев, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЭЦ, ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОВИНТОВЫХ МАШИН

В настоящее время в России происходит снижение потребления пара из производственных отборов турбин ТЭЦ, что связано со стремлением потребителей такого пара перейти на собственные источники пара, а также со снижением общего объёма выпускаемой продукции.

В этом случае для турбоустановок ТЭЦ типа ПТ, имеющих производственный и один теплофикационный отборы пара, например, турбина марки ПТ-60-130/13, для загрузки производственного отбора пара, имеющего давление $p_{\text{П}} = 1,3$ МПа, устанавливают РОУ, а в схеме теплофикационной установки, вместо пикового водогрейного котла, устанавливают второй сетевой подогреватель, на который и поступает пар после РОУ. Такая схема позволяет с одной стороны уменьшить общий расход топлива по ТЭЦ, так как прекращается работа пикового водогрейного котла, но с другой стороны применение РОУ приводит к потерям, что связано с необходимостью дросселировать пар от давления $p_{\text{П}} = 1,3$ МПа до давления необходимого на второй (верхний) сетевой подогреватель $p_{\text{ВСП}} = 0,3 \div 0,35$ МПа.

Чтобы устранить недостаток применения РОУ, можно предложить несколько решений. Например, создать специальный цилиндр турбины, установленный на её общий вал, который будет работать на перепаде давлений от 1,3 МПа до давления $p_{\text{ВСП}} = 0,35$ МПа, или применить поршневую паровую машину со своим генератором, которая работает на таком же перепаде давлений и связывает промышленный отбор с верхним сетевым подогревателем. Недостаток предложенных схем заключается в их громоздкости и большой металлоемкости.

Более эффективным мероприятием является применение вместо РОУ паровинтовой машины (ПВМ), которая позволит утилизировать перепад давлений от 1,3 МПа до давления $p_{\text{ВСП}} = 0,35$ МПа для выработки электроэнергии. ПВМ проста в эксплуатации, имеет небольшие размеры, отличается высоким ресурсом работы, эксплуатационной надежностью и безопасностью, неприхотливостью к качеству пара.

Нами был проработан вариант применения ПВМ для ТЭЦ, с турбиной типа ПТ и разработан проект установки верхнего сетевого подогревателя вместо ПВК. Следует отметить, что ПВМ не нарушает режим работы основного производства ТЭЦ, поэтому она может использоваться и как резерв для промышленного отбора в случае остановки турбины.

*И.А. Кокулин, Р.Н. Ефремов, студ.; рук. Е.В. Барочкин, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ Г. КАЗАНИ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАФИКА

До 2012 года тепловые сети системы централизованного теплоснабжения города Казани от источников АО «Гатэнерго» и АО «ТГК-16» работали по температурному графику 150/70 °С со срезкой 135/65 °С.

К недостаткам температурного графика 150/70 °С со срезкой 135/65 °С по сравнению с пониженными температурными графиками относятся: снижение технико-экономических показателей источников комбинированной выработки электрической и тепловой энергии; его прямолинейность; высокие потери тепловой энергии и теплоносителя в тепловых сетях; рост повреждаемости трубопроводов тепловых сетей; сокращение срока службы трубопроводов с ППУ-изоляциями.

Исходя из анализа фактических режимов работы тепловых сетей города Казани по условию оптимизации параметров теплоносителя Схемой теплоснабжения города Казани с учетом перехода абонентов на АИТП принят оптимизированный пониженный температурный график 135/65 °С со срезкой 115 °С, учитывающий вышеприведенные факторы: на крупных источниках (Казанская ТЭЦ-1, Казанская ТЭЦ-2, Казанская ТЭЦ-3) температурный график составляет 135/65 °С.

Анализ данных диспетчерских служб АО «Гатэнерго» и АО «ТГК-16» за отопительный период 2015-2018 гг. по температурам подающей и обратной воды, а также расходам теплоносителей показал, что существующий температурный график на источниках этих теплоснабжающих организаций является обоснованным и в целом не приводит к снижению количества и качества отпускаемой потребителям тепловой энергии на нужды отопления и вентиляции.

Экономическая эффективность применения температурного графика 135/65 °С со срезкой 115 °С благодаря повышению работы Казанских ТЭЦ за счёт загрузки теплофикационных отборов и отказа от использования пиковых водогрейных котлов оценивается в экономии 6 тыс. т.у.т. в год при средней фактической длительности таких режимов в году 12 суток, снижение потерь тепловой энергии оценивается в среднем в 4 %.

В части развития системы теплоснабжения г. Казани принятый температурный график с максимальной температурой теплоносителя 115 °С в краткосрочной перспективе также позволяет обеспечить подключение дополнительных тепловых нагрузок.

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

ВЛИЯНИЕ ПОГОДОЗАВИСИМОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА СИСТЕМУ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ Г. КАЗАНИ

В настоящее время, Казанская ТЭЦ-1 осуществляет отпуск тепловой энергии потребителям по температурному графику 135/65, имеющий спрямление на ГВС на 72,2 °С при температуре наружного воздуха 2 °С и срезку на 115 °С при температуре наружного воздуха при -20 °С. Но по причине того, что в г. Казань идёт процесс модернизации системы теплоснабжения, которая подразумевает под собой отказ от центральных тепловых пунктов и переход на индивидуальные тепловые пункты с погодным регулированием, то в рассматриваемой системе осуществляется количественное регулирование.

Проведя анализ, полученных данных об изменении расхода теплоносителя в тепловой сети от теплоснабжающей организации АО «Татэнерго», был построен график изменения расхода теплоносителя от температуры наружного воздуха и времени суток.

Как видно из графика – при снижении температуры наружного воздуха увеличивается расход теплоносителя в системе теплоснабжения АО «Татэнерго».

По состоянию на 2018 г. оборудовано 3546 ИТП установками погодозависимого регулирования, что составляет 63 % от общего числа ИТП. Как видно из графика, суточные колебания по г. Казани могут достигать до 5100 т/ч. Спрогнозировав реализацию 100 % установок погодозависимого регулирования, и при существенном похолодании – суточные колебания могут достигать до 11000 т/ч.

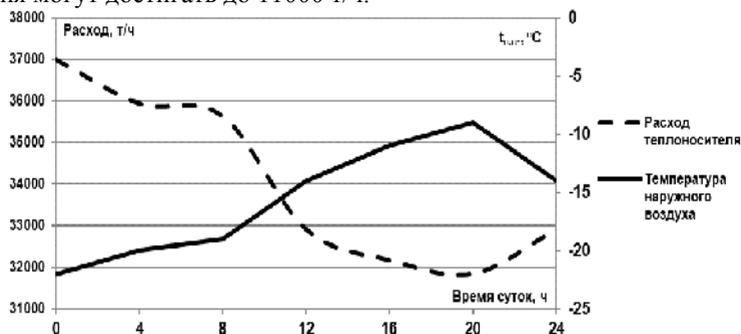


Рисунок 1 - Суточные колебания расхода теплоносителя по системе теплоснабжения АО «Татэнерго» (10.01.2018г)

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

АНАЛИЗ БЕЗДЕАЭРАТОРНЫХ СХЕМ ПГУ

Паротурбинные подстройки (КУ, ПТУ) к ГТУ имеют более низкие параметры пара в сравнении с традиционными существующими конденсационными турбинами. Однако вопрос предотвращения кислородной коррозии металла остается актуальным и для них.

Кислородная коррозия металла трубопроводов и оборудования (КУ, ПТУ) является наиболее опасной, так как она проявляется в виде язвин и может привести к выходу оборудования из строя. Чтобы устранить это явление, необходимо осуществить процесс удаления из воды растворенных в ней агрессивных газов. Наибольшее распространение получил термический способ деаэрации воды.

Одной из особенностей утилизационных ПГУ является возможность работы установки в бездеаэрационном режиме.

Параметры пара, полученные в ходе комплексной оптимизации по критерию максимальной общей экономичности, ниже и составляют: $P_0^{opt}=1.3\div 1.78$ МПа, $T_0^{opt}=443\div 473$ °С.

Исследуя результаты оптимизации бездеаэрационной схемы, их можно сравнить с результатами расчёта схемы с водо-водяным теплообменником, где также решается проблема повышения тепловой экономичности установки за счёт снижения температуры питательной воды. Примерное равенство параметров пара в схемах одного давления с водо-водяным теплообменником и с рециркуляцией обусловлено более равномерным распределением тепловосприятий по поверхностям нагрева котла-утилизатора.

Сравнивая оптимальные параметры рассматриваемых схем, можно сделать вывод о влиянии температуры газов перед котлом-утилизатором на результаты оптимизации. С увеличением температуры газов за ГТУ при комплексной оптимизации повышение параметров пара превалирует над уменьшением температуры уходящих газов.

В бездеаэрационной схеме температура уходящих газов на $7\div 9$ °С ниже, чем в цикле с водо-водяным теплообменником, что говорит о её максимальной тепловой экономичности в сравнении с другими техническими решениями относительно схемы ПГУ одного давления.

Отсутствие в цикле отбора пара на деаэратор увеличивает мощность паровой турбины на $0.5\div 2$ %, что в совокупности с высокой эффективностью регенерации приводит к увеличению КПД ПГУ на $0.07\div 0.12$ %.

*М.О. Кулев, студ.; рук. Е.М. Новоселов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА УГОЛЬНЫХ ТЭС

Основным критерием конкурентоспособности угольной генерации является относительная ценовая разница между топливными составляющими для газовой и угольной генерации. Опыт зарубежных стран показывает, что угольная генерация может развиваться лишь при относительной ценовой разнице не менее 30% [1].

На сегодняшний день угольная генерация уступает газовой как в экологичности так и эффективности. Поэтому в данной работе рассматриваются перспективные технологии, которые позволят повысить привлекательность угольных электростанций.

Были рассмотрены перспективные способы повышения эффективности и экологичности угольных ТЭС: создание энергоблоков на суперсверхкритические (температура пара до 870°C, давление до 35 МПа) параметры пара [2]; совершенствование способов сжигания угля [3]; сжигание угля в котлах с циркулирующим кипящим слоем [4].

На основе проведенного анализа был сделан вывод что самым действенным способом повышения эффективности и экологичности угольных ТЭС является повышение параметров пара, так как одновременно решаются обе этих проблемы, что достигается за счет увеличения КПД при неизменных расходах топлива.

Библиографический список

1. **Владимирович А.Г.** Актуальность и перспективы модернизации объектов угольной генерации [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: http://www.ipem.ru/research/power/power_presentations/172.html.
2. **Базеев Е.Т.** Перспективы развития тепловой энергетики [Электронный ресурс] / Е.Т. Базеев, Б.Д. Билека, Е.П. Васильев, Г.Б. Варламов // Развитие теплоэнергетики и гидроэнергетики – Режим доступа: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-6>.
3. Будущее тепловых электростанций на угольном топливе [Электронный ресурс]. - 2010. – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/Energetika/332094-budushchee-teplovykh-elektrostantsiy-na-ugolnom-toplive>.
4. **Серант Ф.А.** Разработка вариантов и анализ применимости некоторых современных угольных котельных технологий для перспективных ТЭС [Электронный ресурс] / Ф.А. Серант, [и др.] // Материалы всероссийской конференции по стратегии развития энергетической корпорации компании «Русский Алюминий». – Красноярск., 2007. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/26229190-Razrabotka-variantov-i-analiz-primenimosti-nekotoryh-sovremennyh-ugolnyh-kotelnyh-tehnologiy-dlya-perspektivnyh-tes.html>.

*А.В. Курочкина, маг.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МАКЕТА РАСЧЕТА НОРМАТИВНЫХ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНУЮ УСТАНОВКУ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Задачи энергосбережения остаются актуальными для экономики России на протяжении многих лет. Эффективным средством повышения энергетической эффективности производства является использование системы нормирования удельных затрат энергоресурсов: стремление следовать технически обоснованным нормам при эксплуатации любого оборудования стимулирует персонал к поддержанию высокого уровня культуры эксплуатации и регламентного обслуживания.

Объектом исследования является водоподготовительная установка номинальной производительностью 2000 т/ч, в технологической схеме которой предусмотрены: предочистка (коагуляция, механическая фильтрация), Na-катионирование, термическая деаэрация в деаэраторах атмосферного давления. В составе установки работают также четыре группы насосов различного назначения (часть насосов имеет частотное регулирование производительности), кожухотрубные и пластинчатые теплообменные аппараты. Задачей исследования является разработка макета расчета норм удельных расходов энергоресурсов (воды, пара, электроэнергии) в различных режимах работы установки.

Алгоритм расчета составлен с учетом требований нормативных документов энергетической отрасли, регламентирующих порядок разработки нормативно-технической документации по топливоиспользованию ТЭС и промышленных предприятий. Алгоритм имеет модульную структуру (по отдельным стадиям технологического процесса и, в ряде случаев, по отдельным единицам оборудования) и предусматривает итерационный расчет ввиду особенностей схемы установки. Для определения нормативных показателей отдельных агрегатов разработаны процедуры расчета энергетических характеристик насосов с частотным приводом, теплового расчета теплообменником и деаэраторов, расчета затрат воды на собственные нужды фильтровального оборудования и др. Автоматизация алгоритма выполнена средствами MS Excel со встроенным языком программирования Microsoft Visual Basic.

Результаты работы предназначены для использования при организации эксплуатации рассматриваемой водоподготовительной установки, а также могут быть использованы при решении аналогичных задач применительно к другим объектам.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРОВ НА ТЭС, СЖИГАЮЩИХ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

В настоящее время наблюдается резкое повышение потребления природного газа в энергетике многих стран. В России в 2018 г. добыча природного газа составила 733 млрд. м³, а к 2050 г. она должна увеличиться на 40 %. Достоинством использования природного газа, как органического топлива, является малый ущерб окружающей среде.

В России тепловые электрические станции (ТЭС) оказываются значительными потребителями природного газа, на которые он поступает от газораспределительных станций (ГРС) с давлением 0,7 ÷ 1,3 МПа. Перед котельными агрегатами ТЭС это давление снижается до величины 0,13 ÷ 0,2 МПа за счёт дросселирования газа в газорегуляторном пункте (ГРП), что приводит к энергетическим потерям. Чтобы избежать такие потери на ТЭС в ГРП целесообразно установить турбодетандерные агрегаты, в которых будет происходить расширение природного газа до требуемого значения давления $p = 0,13 \div 0,2$ МПа и одновременно будет вырабатываться электроэнергия. Следует отметить, что при расширении газа в турбодетандере его температура на выходе снижается и может достигать ощутимых отрицательных значений, а при подаче такого газа в котельный агрегат потребуются дополнительно тратить топливо на его нагрев. Чтобы устранить этот недостаток, можно нагревать газ в теплообменнике, который устанавливается на входе или на выходе газа из турбодетандера. Нами были рассмотрены схемы нагрева природного газа на выходе из турбодетандера в теплообменнике паром из разных отборов турбины, а также схема нагрева этого газа водой в теплообменнике, включенном на байпасе подогревателей низкого давления (ПНД), что оказалось более эффективно. Вода для нагрева газа циркулирует по контуру: деаэратор цикла, подогреватель для газа, ПНД и снова деаэратор.

Установка такого теплообменника на байпасе ПНД требует небольшого увеличения расхода воды, проходящей через ПНД, примерно на 5,5 %, но при этом уменьшается расход пара в конденсатор турбины за счёт увеличения выработки энергии на регенеративных отборах ПНД и сокращается потеря тепла в окружающую среду с циркуляционной водой конденсатора, а также уменьшается величина выходных потерь из последней ступени турбины. В расчете на блок 800 МВт с турбиной К-800-240 был определён эффект от установки турбодетандера, который составил 8,8 МВт дополнительной мощности.

*П.А. Минеев, маг.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ РАЗРАБОТКИ НОРМАТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОВЫХ КОТЛОВ, СЖИГАЮЩИХ ПРИРОДНЫЙ ГАЗ И МАЗУТ

Энергетическая характеристика оборудования представляет собой комплекс зависимостей технико-экономических показателей от нагрузки и внешних факторов при оптимальных условиях эксплуатации и нормативном техническом состоянии оборудования. Нормативные энергетические характеристики разрабатываются раз в пять лет индивидуально для каждой электростанции установленной электрической мощностью 10 МВт и более.

Разработка энергетических характеристик парового котла представляет собой трудоемкий процесс с элементами поверочного теплового и аэродинамического расчетов. В связи с этим актуальной является разработка программно-вычислительных инструментов для автоматизации решения этой задачи.

В рамках работы в соответствии с требованиями нормативных документов составлены алгоритмы расчета нормативных энергетических характеристик паровых котлов, сжигающих природный газ и мазут (как раздельно, так и в составе топливной смеси). Расчет энергетической характеристики для заданного вида топлива включает три модуля: модуль расчета составляющих КПД брутто и промежуточных показателей тепловой экономичности; модуль аэродинамического расчета котла для определения энергетических характеристик затрат электроэнергии на тягу и дутье; модуль расчета поправок к показателям тепловой экономичности на отклонение значений внешних факторов от фиксированных условий. Автоматизация разработанных алгоритмов выполнена средствами MS Excel со встроенным языком программирования Microsoft Visual Basic.

Проведено тестирование программно-вычислительного средства применительно к котлу ТГМ-84Б. Исходные данные для расчета приняты в соответствии с результатами тепловых балансовых испытаний котла в условиях одной из ТЭЦ. В результате получен комплект нормативных энергетических котла, по составу и содержанию отвечающий требованиям нормативных документов энергетической отрасли.

Результаты работы предназначены для использования организациями, занимающимися нормированием показателей тепловой экономичности ТЭС.

*Н.А. Мишуров, маг.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕПЛОВАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ КИСЛОРОДНО-ТОПЛИВНОЙ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ ПО ЦИКЛУ АЛЛАМА

Цикл Аллама в настоящее время рассматривается мировым энергетическим сообществом как наиболее перспективный среди прочих кислородно-топливных циклов (например, циклов SCOC-CC или E-MATIANT) [1]. Несмотря на относительную «молодость» технологии (запатентована в 2010 году), в настоящее время уже имеется действующая установка электрической мощностью 50 МВт, в завершающей стадии находится проектирование электростанции мощностью 300 МВт [1, 2]. Актуальность дальнейшей проработки данной технологии обусловлена, прежде всего, её высокой экологической эффективностью (улавливание около 90 % диоксида углерода, образующегося при сгорании топлива). Актуальной задачей остается оценка тепловой экономичности установки, работающей по циклу Аллама, а также выработка путей дальнейшего её повышения.

В докладе рассмотрен цикл Аллама, реализованный в установке, работающей на природном газе. Параметры теплоносителя по отдельным точкам тепловой схемы приняты по опубликованным данным [1, 2]. В частности, параметры диоксида углерода перед турбиной составляют 300 бар и 1150 °С, давление за турбиной 30 бар; температура за турбиной (на входе в теплообменник-регенератор) варьируется в разных режимах в диапазоне от 700 по 750 °С. Соответствующее этим параметрам значение абсолютного электрического КПД – до 59 % – сопоставимо с лучшими установками парогазового цикла, составляющими базу сегодняшней газовой энергетики.

В качестве одного из путей повышения эффективности установки для условий России рассмотрено использование для технологических целей конденсата, образующегося в сепараторе за счет конденсации водяного пара из потока отработавших газов после регенератора.

Библиографический список

1. **Demonstration** of the Allam Cycle: an update on the development status of a high efficiency supercritical carbon dioxide power process employing full carbon capture / Allam R. et al. // Energy Procedia. – 2017. – № 114. – P. 5948–5966.

2. **R. J. Allam**, J. E. Fetvedt, B. A. Forrest and D. A. Freed, “The Oxy-Fuel, Supercritical CO₂ Allam Cycle: New Cycle Developments to Produce Even Lower-Cost Electricity from Fossil Fuels Without Atmospheric Emissions,” in Proceedings of ASME Turb Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition, Dusseldorf, Germany, June 16-20, 2014.

Ю.А. Прибылина, студ.; рук. Г.Г. Орлов, к.т.н., профессор
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ СОЛЁНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПРУДОВ

В настоящее время установленная мощность агрегатов на базе нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ) неуклонно возрастает, что связано со стремлением сократить потребление органического топлива на производство электроэнергии и уменьшить загрязнение окружающей. За 10 лет (2008 ÷ 2018 г.г.) в мире мощность СЭС на базе фотоэлектрических преобразователей увеличилось в 32 раза и превысила 500 ГВт, а мощность ВЭС возросла в 5 раз и достигла 591 ГВт. Лидером в мире по мощности ВЭС на душу населения является Дания (5,3ГВт), а общее производство электроэнергии в ней на базе НВИЭ в 2020 году достигает 50%. Наибольшее производство электроэнергии в мире на базе геотермальной энергии имеют США (28,7 %), Филиппины (21,6 %), Италия, Индонезия и Мексика (~10 %).

Однако, помимо перечисленных источников нетрадиционной энергии, производство электроэнергии и тепла можно осуществить на базе солёных солнечных прудов [1]. На рис.1 представлена такая схема.

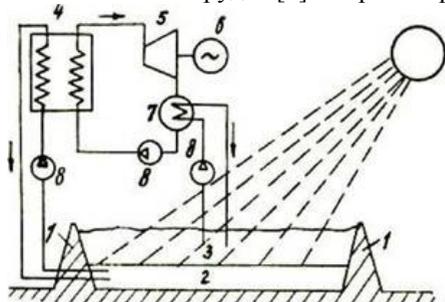


Рисунок. 1 - Солнечная электростанция с прудом: 1- дамбы; 2- горячая вода с высокой концентрацией соли; 3- охлажденная вода; 4 - теплообменник; 5 – турбина, работающая на NH₃; 6 - генератор; 7 - конденсатор; 8 - насосы

В нижних очень солёных слоях такого пруда, глубина которого 2÷3 м, за счёт энергии солнца можно получить температуру солёной воды порядка 90÷100°С, в то время как верхний пресный слой пруда будет иметь температуру 20÷25°С. В качестве рабочего вещества для производства электроэнергии по циклу Ренкина можно использовать низкокипящие вещества: аммиак, бутан (C₄H₁₀), фреоны и т.п.

Нами был разработан проект солнечного пруда, в котором турбина мощностью 50 кВт работает на аммиаке. Площадь пруда составила 1730 м² при удельной солнечной нагрузке на пруд $q_{уд} = 0,645$ кВт/м².

Библиографический список

1. Орлов Г.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии ч. II / Г.Г. Орлов, А.Г. Орлов. Учебное пособие. Иваново 2006. – 198 с. ISBN 978-5-00062-319-0.

Д.А. Смирнов, С.А. Смирнов, О.А. Овчаренко, студ.;
рук. Е.В. Барочкин, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

ВАРИАНТЫ СНИЖЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД МАЗУТНОГО ХОЗЯЙСТВА

На большинстве ТЭС центральной части РФ подавляющую часть года мазутное хозяйство (МХ) находится в режиме «горячего резерва». В данном режиме тепло с паром из коллекторов собственных нужд расходуется на поддержание расчетной температуры хранения мазута и на транспорт мазута и пара.

Для снижения затрат тепла на мазутное хозяйство предлагается сократить затраты тепла на хранения мазута путем снижения количества мазута в баках хранения, которое утверждается из величины утвержденного ОНЗТ.

Для примера рассматривается Сызранская ТЭЦ (СТЭЦ), для которой ОНЗТ составляет 2,812 тыс. т. Для хранения данного количества мазута достаточно одного мазутного резервуара из двух имеющихся. Предлагается использовать МР-3 объём которого составляет 4852 м³, что в 2 раза меньше чем у МР-4 (10857 м³). Также учитывается, что «мёртвый остаток» в МР-3 составляет 560,4 м³, а у МР-4 – 641,9 м³. Таким образом, минимальное количество хранящегося в МР-3 мазута составит сумму величины ОНЗТ и «мертвого остатка»: $2812 + 560,4 \cdot 0,915 = 3325$ т. По данным действующего НТД по ТИ СТЭЦ выполнен расчет минимального расхода тепла на МХ, который составил 10,8 тыс. Гкал в год, что существенно меньше фактических затрат тепла за последние несколько лет.

Рассматривается также вариант полного отказа от МХ. В соответствии с постановлением № 317 (п. 14, пп. "ж" в ред. Постановления Правительства РФ от 30.03.2015 N 294) проекты газоснабжения должны предусматривать сооружение резервного топливного хозяйства и создание запасов топлива для тепловых электростанций и источников тепловой энергии или обеспечение подачи газа на них не менее чем от 2 магистральных газопроводов. Таким образом, в случае отказа от МХ на ТЭС, потребуется строительство резервного газопровода и ГРП.

В условиях СТЭЦ строительство резервного газопровода может быть выполнено от магистрального газопровода Челябинск-Петровск.

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЦВД ТУРБИНЫ К-300-23,5 ЛМЗ

В настоящее время порядка 50 процентов общего количества работающих на тепловых электростанциях России паровых турбин имеют срок эксплуатации более 50 лет, при установленном парковом ресурсе 220 тыс. часов. Поэтому остро стоит вопрос широкой модернизации ПТ в целях продления паркового ресурса с обеспечением высокой надежности их работы и повышения экономичности. Одним из направлений модернизации паровых турбин, обеспечивающих повышение экономических показателей является замена старого ротора на новый ротор реактивного типа. Технически наиболее просто можно выполнить замену ротора цилиндра высокого давления. Сравнительные тепловые расчеты на номинальный режим работы турбины до и после модернизации показали, что увеличение внутреннего КПД ЦВД с реактивным ротором обусловлено следующими факторами:

1. Увеличение относительного лопаточного КПД реактивной ступени:
 - в связи с уменьшением располагаемого теплового перепада на ступень, снижаются скорости пара в проточной части, соответственно снижаются потери в соплах и рабочих решетках;
 - скоростной коэффициент конфузальной рабочей решетки возрастает до уровня сопловой, соответственно снижаются потери в рабочей решетке;
 - высота рабочих лопаток в реактивной ступени выше, чем в активной, т.к. осевые скорости в них меньше, следовательно доля концевых потерь в общих потерях меньше.

2. Увеличение коэффициента возврата теплоты $q_{вт}$ в среднем на 5,5% вследствие увеличения числа ступеней z . При одинаковых окружных скоростях вращения ротора реактивные ступени имеют оптимальный теплоперепад в 1,7 – 1,9 раза меньше, чем активные ступени. Соответственно число ступеней при реактивном роторе будет во столько же раз больше, чем в активном.

3. В реактивной ступени, в отличие от активной, отсутствуют диски, а следовательно отсутствуют дополнительные потери энергии от трения дисков ($\xi_{тр} \approx 0,002$), снижающие внутренний КПД ступени.

Расчеты показали, что внутренний КПД реактивной турбины оказался выше КПД исходной конструкции на 4,8%, а внутренняя мощность цилиндра возросла приблизительно на 4%.

*Р.О. Строганов, студ.; рук. П.Г. Михеев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ТУРБОУСТНОВКИ ПТ-60-130/13 ЛМЗ

Рассмотрена реконструкция турбины типа ПТ-60-130/13 с целью использования её для работы в составе парогазовой установки (ПГУ) суммарной электрической мощностью 210 МВт.

При переводе турбины ПТ-60-130/13 на параметры свежего пара 90 ата, 510 °С уменьшается пропускная способность существующих органов парораспределения ВД.

Выполненные расчёты соплового аппарата и проточной части ЦВД [1] при новых параметрах показали, что пропускная способность ЦВД соответствует характеристике контура ВД котла-утилизатора. В связи с этим, ЦВД не требует реконструкции. Также сохраняются стопорный клапан и ГПЗ.

Для увеличения пропускной способности ЧСД турбины проточная часть 18-26 ступеней подлежит реконструкции с заменой соплового аппарата, диафрагм и рабочих лопаток на новые с большим проходным сечением.

Для подвода в турбину пара контура НД выполняется новая линия. Для определения оптимального места подвода пара НД в проточную часть выполнен комплекс тепловых расчётов на различных режимах работы. Расчёты показали, что при работе турбины на конденсационном режиме (в летний период) оптимальным местом отбора пара является камера за 20 ступенью.

Так как на котёл-утилизатор требуется подача холодного конденсата, система регенеративного подогрева конденсата и питательной воды в пределах турбоагрегата подлежит демонтажу, начиная от ПНД-3 до ПВД-7 включительно. ПНД-1 исключается из работы.

Библиографический список

1. Щегляев А.В. Паровые турбины. М.: Энергоатомиздат, 1993.

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

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЫЗРАНСКОЙ ТЭЦ

СТЭЦ обеспечивает потребности в горячей воде и паре г. Сызрань, а также промышленного потребителя – СНПЗ. Необходимость реконструкции СТЭЦ обусловлена неоптимальным составом оборудования, высокой степенью износа, недостаточной эффективностью работы блока ПГУ.

Со стороны СНПЗ предлагаются следующие мероприятия:

1. потребители пара давлением 13 кгс/см^2 переводятся на горячую воду, отпускаемую от СТЭЦ по температурному графику $150/70 \text{ }^\circ\text{C}$ с реконструкцией теплообменного оборудования и схемы транспорта тепловой энергии;

2. существующее в настоящее время потребление пара давлением 30 кгс/см^2 СНПЗ остается без изменений.

Со стороны СТЭЦ предлагаются следующие мероприятия:

1. вывод из эксплуатации турбины Р-35-130 ст. № 7 и парового котла ТГМЕ-464 ст. № 13;

2. монтаж группы пароводяных пиковых бойлеров для нагрева сетевой воды СНПЗ от 120 до $150 \text{ }^\circ\text{C}$ на ПГУ;

3. монтаж водо-водяных теплообменников для покрытия части тепловой нагрузки системы теплоснабжения города от ПГУ.

Оставшееся оборудование группы 130 кгс/см^2 обеспечит тепловую нагрузку системы теплоснабжения города, не покрываемую ПГУ, а также резерв отпуска тепла на СНПЗ.

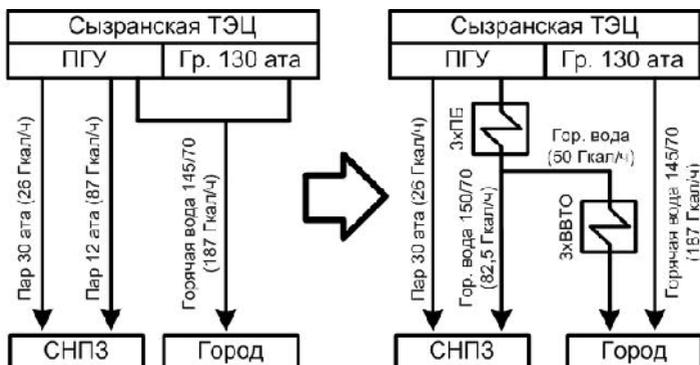


Рисунок 1 - Схема отпуски тепла от СТЭЦ до и после реконструкции

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

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ВАКУУМНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ»

На кафедре ТЭС ИГЭУ разрабатывается комплекс виртуальных лабораторных работ по дисциплине «Испытания и наладка энергетического оборудования», читаемой магистрантам направления подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» с профилем «Тепловые электрические станции». Одна из лабораторных работ посвящена вакуумным испытаниям паровых турбин. Вакуумные испытания проводятся для определения энергетической характеристики, требуемой при проведении ежемесячного анализа показателей тепловой экономичности, – сетки поправок к мощности турбины отклонение давления отработавшего пара в конденсаторе. Задачей настоящего этапа работы является составление алгоритма обработки результатов вакуумных испытаний для его дальнейшего использования в программном коде.

Алгоритм проведения и обработки результатов вакуумных испытаний принят по данным руководящего документа [1] с учетом ряда теоретических положений, содержащихся в [2]. Предусмотрено проведение минимум двух серий опытов при максимально упрощенной тепловой схеме (отключенных регулируемых отборах и подогревателях высокого давления) и различных постоянных значениях расхода свежего пара на турбину. В каждой серии предполагается несколько опытов при различных значениях давления отработавшего пара в конденсаторе (достигается, например, путем впуска воздуха в паровое пространство конденсатора) и отслеживается отклонение вырабатываемой электрической мощности от первоначального значения в серии.

Обработка результатов испытаний предполагает первичную обработку результатов эксперимента, расчет поправок для приведения результатов к выбранным начальным условиям, построение универсальной вакуумной кривой с её дальнейшим пересчетом в искомую энергетическую характеристику.

Библиографический список

- 1. Методические указания** по тепловым испытаниям паровых турбин – МУ 34-70-093-84 (СО 34.30.740): введ. в действие с 01.01.85 г., без ограничения срока действия.
- 2. Сахаров А.М.** Тепловые испытания паровых турбин. – М.: Энергоатомиздат, 1990 г. – 238 с.

*Д.С. Усов, маг.; рук. С.Д. Горшенин, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ПОПРАВОК К ТИПОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБОАГРЕГАТА ПТ-65-130 ЛМЗ НА РАБОТУ ДЕАЭРАТОРА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ОТ СТОРОННЕГО ИСТОЧНИКА

Энергетическая характеристика турбоагрегата представляет собой комплекс зависимостей его технико-экономических показателей (удельный расхода тепла брутто на выработку электроэнергии, расход свежего пара и др.) от электрической мощности, тепловой нагрузки его регулируемых отборов и значения внешних факторов при оптимальных условиях эксплуатации и нормативном техническом состоянии турбоагрегата.

В подавляющем большинстве случаев разработка энергетических характеристик турбоагрегатов производится на основе их типовых энергетических характеристик (далее ТЭХ), составленных на базе испытаний однотипных турбоагрегатов ряда ТЭС. Помимо графических зависимостей основных технико-экономических показателей работы турбоагрегатов в состав ТЭХ входит комплекс поправок, учитывающих отклонение значений внешних факторов и фактической тепловой схемы турбоагрегата от фиксированных условий построения ТЭХ.

Анализ фактических тепловых схем турбоагрегатов ПТ-65/75-130/13 ряда отечественных ТЭС показал, что наиболее вероятным источником греющего пара деаэраторов питательной воды является коллектор собственных нужд. В расчетной тепловой схеме ТЭХ деаэратор подключен к собственному производственному отбору турбоагрегата. Ввиду отсутствия в ТЭХ поправочных зависимостей, учитывающих изменение схемы включения деаэратора питательной воды, в рамках работы разработан автоматизированный алгоритм и получены недостающие поправочные зависимости к удельному расходу тепла брутто на выработку электроэнергии и расходу свежего пара на турбоагрегат ПТ-65/75-130/13. Сетки поправочных зависимостей построены для всего регулировочного диапазона изменения электрической мощности и тепловой нагрузки производственного регулируемого отбора турбоагрегата.

Результаты работы предназначены для использования организациями, занимающимися разработкой энергетических характеристик оборудования ТЭС и нормированием их показателей тепловой экономичности.

*М.Д. Фомичев, К.А. Вилл, студ.; рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СНЯТИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ГТУ

Для ГТУ ограничения имеют место в неотапливаемый период при повышении температуры наружного воздуха и снижении теплоперепадов газов в турбинах ГТУ. Для снятия летних ограничений предлагается техническое перевооружение ГТУ с монтажом установки абсорбционной холодильной машины (АБХМ).

Принцип действия абсорбционной холодильной машины основан на определенных свойствах хладагента и абсорбента, которые обеспечивают отвод тепла, охлаждение и поддержание необходимого температурного режима. АБХМ представляет собой холодильную установку, работающую за счет тепловой энергии, а не электричества. Источником тепловой энергии служит пар давлением 0,7 МПа, в качестве охлаждающей вода – циркуляционная вода с существующих ЦЭН и охлаждением в существующих градирнях.

В качестве примера рассматриваются газовые турбины PG6111 6FA ст. № 10, 11 Сызранской ТЭЦ. Номинальная электрическая мощность турбин составляет 76,5 МВт, но в летний период мощность снижается до 67,5 МВт, т.е. на 12 %.

Таблица 1 - Характеристики АБХМ для СТЭЦ

№ п/п	Характеристика	Ед. изм.	Значение
1	Модель АБХМ	THERMAX	2В 7КС
2	Холодопроизводительность	кВт	4860.0
Контур охлаждаемой воды			
1	Расход охлаждаемой воды	м ³ /ч	641.1
2	Вход охлаждаемой воды	°С	13,0
3	Выход охлаждаемой воды	°С	6.5
Контур охлаждающей воды			
1	Мощность отводимого тепла	кВт	8331,0
2	Расход охлаждающей воды	м ³ /ч	1550,0
3	Вход охлаждающей воды	°С	27,0
4	Выход охлаждающей воды	°С	31,7
Контур пара			
1	Потребляемая тепловая мощность	кВт	3470,9
2	Давление пара	кПа (изб)	600,0
3	Потребление пара	кг/ч	5238,9

Положительный эффект от внедрения установки достигается за счет оплаты дополнительной мощности 56 МВт и увеличения выработки электроэнергии на 102,8 млн.кВт*ч.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА «П-102» ОТ ПАРПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ АВТОНОМНОМ РЕЖИМЕ ЕГО РАБОТЫ

В автономном режиме работы, когда отключена газовая турбина «ГТЭ-6П», котел-утилизатор (КУ) «П-102» работает за счет сжигания природного газа, поступающего в топочную камеру через горелочные устройства.

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

Следовало определить зависимость температуры уходящих газов КУ от паропроизводительности при ее изменении в диапазоне от 20 т/ч до 50 т/ч. Расход сетевой воды составлял 10 т/ч, а температура наружного воздуха $t_{нар} = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Вариантными расчетами установлена следующая зависимость:

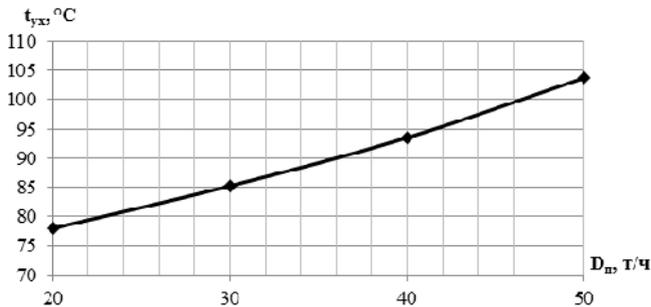


Рисунок 1 - Зависимость температуры уходящих газов котла-утилизатора от паропроизводительности и температуры окружающей среды.

$$t_{ух} = 78 + 0,75 \cdot (D_{ух} - 20)^{1,04} \quad (1)$$

В случаях повышенной паропроизводительности потери теплоты с уходящими газами превышает потерю теплоты от наружного охлаждения агрегата q_5 . При номинальной паропроизводительности $D_n=50\text{ т/ч}$, $t_{ух}=104\text{ }^{\circ}\text{C}$, КПД КУ $\eta_{ку}=0,956$, Если $D_n=20\text{ т/ч}$, то $t_{ух}=78\text{ }^{\circ}\text{C}$, а значения q_5 превышают величину q_2 , и $\eta_{ку}$ составляет лишь $\eta_{ку}=0,929$.

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

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

О НЕКОТОРЫХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЯХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ВЕТРОУСТАНОВОК

В настоящее время в мире производство электроэнергии на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии (НВИЭ) неуклонно растет. В Германии оно достигает 41,5%, в Голландии 29,4%, в Дании 42% , в Австралии 48,7%. Применение НВИЭ позволяет существенно сократить потребление органического топлива и не допускать загрязнения окружающей среды, по сравнению с традиционными ТЭС.

Одной из новых технологий получения электроэнергии явилось создание ветроустановок, которые работают под действием ветра, создаваемого за счет самотяги в вертикальной трубе (рис. 1). Впервые такая технология появилась в Испании, когда в вертикальной металлической трубе диаметром 400 мм и высотой 197 м работала ветротурбина мощностью 50 кВт. Этот положительный результат позволил разработать

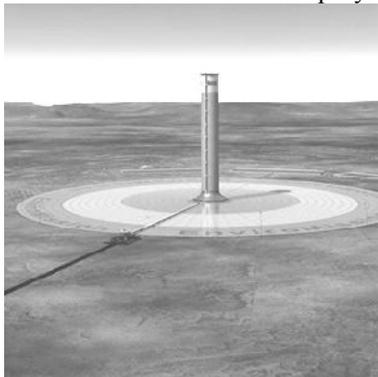


Рисунок 1 - Солнечная башня Австралии высотой 1000 м с коллектором диаметром 3,7 км.

проект солнечной башни в Австралии мощностью 200 МВт. Диаметр башни 130 м, высота 1000 м (рис. 1). В основании трубы располагается коллектор из стекла диаметром 3,7 км, который, подобно теплице, позволяет нагреть воздух на входе в трубу до $t_{вх} = 100^{\circ}\text{C}$ (при температуре наружного воздуха на входе в коллектор $t_{н.в.} = 30^{\circ}\text{C}$).

Нами был просчитан вариант такой ветроустановки и

график изменения её общей мощности в течение суток. Максимальная мощность ($N_{max} = 200$ МВт) может быть получена, когда Солнце находится в зените. Продолжительность N_{max} составляет 2-3 часа в сутки.

В настоящее время подобные проекты разработаны для Аризоны (США), а высота солнечных башен по проекту может быть до 5000 м.

Библиографический список

1. Орлов Г.Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии ч. II / Г.Г. Орлов, А.Г. Орлов. Учебное пособие. Иваново 2006. – 198 с. ISBN 978-5-00062-319-0.

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.**

*К.А. Гареева, У.В. Иванова, студ.; рук. С.М. Власов, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ВОДООЧИСТКИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-2

В 2014 году в филиале АО «Татэнерго» Казанская ТЭЦ-2 введен новый энергоблок ПГУ-220 МВт. Для повышения качества подпиточной воды для паровых котлов и теплосети произведена реконструкция системы водоочистки химического цеха. Технологическая схема химического цеха включает в себя: предварительную очистку исходной воды на сетчатых фильтрах с коагуляцией-оксихлоридом алюминия и удаление взвешенных веществ (железа, снижение цветности, основной части органических соединений, извлечение из воды практически всех патогенных микроорганизмов) на микрофильтрационной установке. Обессоливающая установка химического цеха включает в себя частичное обессоливание осветленной воды на установке обратного осмоса, установку декарбонизации для снижения CO_2 с доочисткой воды на фильтрах Н – ОН – ионированием с противоточной регенерацией.

Для борьбы с отложением на мембранах обратного осмоса малорастворимых солей кальция, магния, органических веществ в исходную воду перед блоком вводятся антискалянт «Акварезалт – 1030» [1]. В период эксплуатации системы водоочистки Казанской ТЭЦ-2 был выявлен ряд проблем:

- снижение надежности установки за счет выпадения алюминесодержащего реагента на поверхность мембран;
- перерасход химических реагентов для введения водохимического режима системы водоочистки;
- увеличение доли концентрата к пермиату установки.

На сегодняшний момент введен ряд мер по устранению проблем (замена алюминесодержащего коагулянта на сульфат двухвалентного железа).

** Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых - докторов наук при Президенте РФ (Конкурс - МК-2020). Заявка № МК-424.2020.5.*

Библиографический список

1. Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Сайтов С.Р., Филимонов А.Г., Гирфанов А.А. Анализ опыта внедрения баромембранных технологий на ТЭС РФ. Труды Академэнерго. 2013. № 4. С. 70-82.

*А.Р. Измайлова, А.В. Печенкин, студ.; рук. С.М. Власов, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЦЕХА ФИЛИАЛА АО «ТАТЭНЕРГО» КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-1 В СВЯЗИ С ВВОДОМ НОВОГО БЛОКА ПГУ-240 МВт

В существующей установке обессоливания воды производительностью 475 т/ч происходит двухступенчатое обессоливание с предварительным известкованием и коагуляцией волжской воды в осветлителях и доочистки её на механических фильтрах. Схема обессоливающей установки ХЦ КТЭЦ-1 основана на использовании технологии ионного обмена. Осветлённая вода после механических фильтров поступает на Н-катионитовые и анионитовые фильтры I и II ступени, а затем в баки обессоленной воды. В связи с вводом ПГУ-240 МВт на филиале АО «Татэнерго» КТЭЦ-1 возникла необходимость ввода дополнительной ступени очистки в обессоливающую установку [1]. Руководством КТЭЦ-1 было принято решение установить на «хвост» обессоливающей установки фильтр смешанного действия с внутренней регенерацией. Данный фильтр стал III ступенью ионитного химического обессоливания. Один фильтр ФСДВР заменяет два последовательно включённых Н⁺ и ОН⁻ ионитных фильтра. В процессе фильтрации в воде происходит обмен ионов, в результате которого, при одновременном удалении катионов и анионов, образуется вода чрезвычайно высокой чистоты. Каждый фильтр загружен сильнокислотным катионитом и сильноосновным анионитом. За период эксплуатации ПГУ-240 МВт качество воды удовлетворяет требованиям технической документации [2].

**Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых – докторов наук при Президенте РФ (Конкурс – МК-2020). Заявка № МК-424.2020.5*

Библиографический список

1. **Вафин, Т.Ф.** Лабораторный практикум по дисциплине «Тепловые и атомные электрические станции» / Т.Ф. Вафин, Р.Е. Безруков, Н.Г. Шагиев. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2011. – 76 с.
2. **Кучкарова, А.Р.** Улучшение качества обессоленной воды для котлов-утилизаторов парогазовой установки в связи с модернизацией Казанской ТЭЦ-1 / А.Р. Кучкарова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2015. №3 (27). – С. 83-93.

*Э.М. Хуснутдинова, соискатель; рук. Л.А. Николаева, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)*

ОЧИСТКА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ КАРБОНАТНЫМ ШЛАМОМ

Промышленные предприятия оказывают негативное влияние на окружающую природную среду, загрязняя воздух. Загрязнение атмосферного воздуха одна из самых значительных проблем современности. Многие предприятия недостаточно оборудованы очистными сооружениями, либо экономят энергию на неполной загрузке этих сооружений.

С развитием промышленности большое внимание уделяется ее экологической составляющей, а именно проблеме очистке и утилизации отходов. Главными загрязнителями воздуха являются оксид углерода, азота, диоксид серы и летучие органические соединения. Один из наиболее эффективных способов очистки газовых выбросов – их адсорбция на микропористых сорбентах. Такая технология обеспечивает содержание вредных выбросов согласно нормативам удельных выбросов в атмосферу для котлов определенной паропроизводительности и различных видов топлива. Технично-экономические показатели адсорбционной очистки газовых выбросов во многом зависят от свойств адсорбентов, выбор которых определяется энергетическими и материальными затратами на очистку [1]. В данном исследовании в качестве сорбента газовых выбросов станции используется высушенный шлам ХВО Казанской ТЭЦ-1. Шлам ХВО – природная сырая и устойчивая смесь определенного химического состава, которая, так же, как и соотношение компонентов шлама, зависит от химического состава сырой воды. Шлам обладает высокой механической прочностью, о чем свидетельствует однородный гранулометрический состав измельченного образца и практически полное отсутствие мелкодисперсных частиц.

Использование сорбционных свойств шлама с целью снижения вредных газовых выбросов позволяет решить эколого-экономические и ресурсосберегающие проблемы промышленных предприятий основных комплексов.

Библиографический список

1. **Новые технологии**, материалы и оборудование в энергетике. В 3 т. Т. III. Качество энергоснабжения, энергоэффективность и экология: монография / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – 398 с.

*А. М. Стольнова студ., С.С. Закожурников С.С., к.т.н., доц.;
рук. Г.С. Закожурникова, к.т.н., доц.
(ВолгГТУ, г. Волгоград)*

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Волгоградская область является засушливым регионом и требует использования мелиоративных мероприятий. Сегодня, использование такого рода мероприятий является одним из ключевых направлений развития агропромышленного комплекса региона. Проходит реконструкция и обновление объектов мелиорации существующих с советских времен и установка новых насосных станций. Для полива растений в сельском хозяйстве требуется большое количество воды, особенно в районах с недостаточным увлажнением. Но во многих сельских районах где нет электричества или оно работает с перебоями существует возможность использования энергии потоков ветра для полива. Сегодня использование водяных насосов, действующих на основе энергии ветра, является актуальным.

В данной работе предлагается использование энергии ветра для систем орошения области. Ветроэнергетические установки (ВЭУ) обычно конструируются таким образом, что они работают при скоростях ветра от 4 до 25-30 м/с. В Волгоградской области средняя скорость ветра составляет 4,8 м/с. В сельском хозяйстве применяются малые системы (мощностью 3-40 кВт) в качестве энергоисточников для перекачки воды.

Отметим, что для исключения перебоев в электроснабжении в периоды безветрия необходимо предусмотреть использование аккумуляторов энергии или дублирование выработки энергии установками других типов.

Выводы:

- предложена возможность использование возобновляемой энергии ветра в мелиоративных мероприятиях Волгоградской области в районах где отсутствуют линии электропередач или существуют перебои с электроэнергией;

- полученная таким способом энергия более экологична, в связи с отсутствием вредных выбросов в атмосферу;

- представленный вариант использования энергии ветра в сельском хозяйстве, можно усовершенствовать путем комбинированного использования ВЭУ с солнечными батареями, что повысит обеспеченность сельскохозяйственных районов водой.

А.Б. Мухаметов, студ.; рук. А.А. Тараторин, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛУШИТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

Одним из основных путей снижения шума, распространяющегося в каналах энергетических газозовдухопроводов, является установка пластинчатых диссипативных глушителей, представляющих собой ряд параллельных пластин со звукопоглощающим материалом [1]. В зависимости от температуры, влажности, химического состава потока, который проходит через глушитель, выбирается вид и необходимая плотность звукопоглощающего материала. С целью снижения аэродинамического сопротивления предлагается установка пластин переменного сечения. Производится анализ акустической эффективности таких глушителей.

Для оценки акустической эффективности глушителей использована энергетическая теория затухания шума, согласно которой звуковая мощность, проходящая через канал, в котором установлен глушитель, затухает по экспоненциальному закону [2]. По результатам акустических расчетов построены зависимости изменения удельного снижения шума от толщины пластин в выходном сечении для среднегеометрических частот 31,5-8000 Гц (рис. 1). Наибольшее снижение шума на частотах 500 и 1000 Гц Гц связано с максимальными значениями коэффициента звукопоглощения на этих частотах. Определена зависимость коэффициента звукопоглощения от плотности звукопоглощающих материалов.

Также проведено сравнение акустической эффективности глушителей, рассчитанной по модели Джонсона-Шампу-Алларда, согласно которой затухание звука в глушителе определяется вязкоинерциальными свойствами пористых звукопоглощающих материалов.

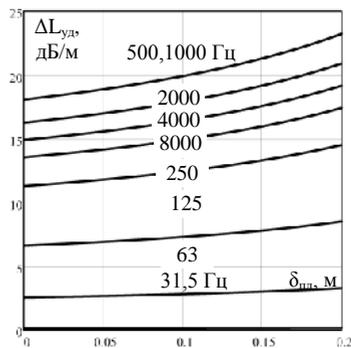


Рис. 1. Зависимость удельного снижения шума ($\Delta L_{уд}$) от выходной толщины пластин ($\delta_{пл}$)

Библиографический список

1. Тупов В.Б. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду. М.: МЭИ, 2012. – 284 с.
2. Григорьян Ф.Е., Перцовский Е.А. Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1980. – 120 с, ил.

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

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СХЕМЫ ХИМИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

В настоящее время используются программы для предварительного и эксплуатационного расчета водоподготовительных установок. Большинство программ автоматического расчета разработаны для установок мембранных технологий: УОО, НФ и УФ, такие программы, как ROSA, NanoTechPRO, TORAY DC, WaterLAB. В то же время для водоподготовительных установок ионного обмена, существует программа Cadix и различные MathCAD документы, размещенные на сервере облачных вычислений МЭИ.

Программа Cadix обеспечивает возможность расчета основных технологий ионного обмена, содержит интерфейс на английском языке и имеет большое количество настроек, поэтому сложно произвести расчет требуемой технологической схемы. Таким образом, представляет интерес разработать программу для расчета противоточной ВПУ, интуитивно понятной для пользователя и на русском языке.

Для расчета была взята схема глубокого обессоливания на базе противоточных технологий UPCORE с дообессоливанием на ФСД. В качестве предочистки предлагается использовать традиционные методы: коагуляцию, коагуляцию совместно с известкованием, и коагуляцию с подщелачиванием в осветлителях с последующей очистки на МФ. Для реализации предлагаемой методики был выбран языковой пакет Python. Данная система отличается возможностью создать любое приложение по сложности, большое количество дополнительных библиотек с подробной документацией к ним.

С использованием программы автоматического расчета проведена оценка корректности результатов в зависимости от широкого диапазона производительности и минерализации. Преимущества данной программы состоят в следующем: интерфейс на русском языке; исходные данные задаются через специальный документ, в котором каждый показатель подробно описан; результаты расчета выводятся так же в специальный документ, в котором каждый показатель подробно описан; метод предочистки выбирается в зависимости от исходных данных; дается оценка состава и объема сточных вод, рассчитываются технологические и экологические показатели.

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

ВЛИЯНИЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНИОНИТА

Высокоосновные аниониты со временем, и особенно в условиях работы на осветленной воде, не удовлетворяющей требованиям по содержанию железоорганических примесей, подвергаются процессам «старения» и «отравления». Восстановительная обработка имеет существенное значение для продления срока службы ионообменного материала и восстановления его характеристик.

Проведены лабораторные исследования эффективности восстановительной обработки анионита Purolite A-400, проработавшего в цикле полного химического обессоливания в течение 5 лет. Опыты проводились в динамических условиях. Промежуточные результаты восстановительной обработки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты контроля восстановительной обработки анионита в динамических условиях

Время (мин)	Кислотная стадия обработки			Соле-щелочная стадия обработки			
	I этап отмывки ($\lambda=413$ нм) $Q=2,88$ м ³ /ч	II этап отмывки ($\lambda=413$ нм) $Q=2,88$ м ³ /ч	III этап отмывки ($\lambda=413$ нм) $Q=2,88$ м ³ /ч	I этап отмывки ($\lambda=413$ нм) $Q=1,20$ м ³ /ч	II этап отмывки ($\lambda=590$ нм) $Q=2,88$ м ³ /ч	III этап отмывки ($\lambda=590$ нм) $Q=2,88$ м ³ /ч	IV этап отмывки ($\lambda=590$ нм) $Q=2,88$ м ³ /ч
10	0,329	0,296	0,323	1,435	0,455	0,492	0,448
20	0,206	0,295	0,319	1,435	0,441	0,450	0,501
30	0,180	0,296	0,313	1,435	0,475	0,453	0,451
40	0,174	0,299	0,312	1,435	0,454	0,445	0,492
50	-	-	-	1,433	0,383	0,452	-
60	-	-	-	1,433	0,384	0,464	-
70	-	-	-	-	0,374	0,482	-
Ср. знач.	0,266	0,293	0,320	1,434	0,387	0,452	0,445

По результатам лабораторных экспериментов установлено, что восстановительная обработка в целом дает положительный эффект. Наиболее эффективной стадией обработки с учетом эффекта вымывания железоорганических соединений является соле-щелочная обработка. Полученные результаты можно использовать для уточнения режима очистки ионитов.

*М.Э. Колодяжная, студ.; рук. В.Н. Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАРА ПРИ АМИННОЙ ОБРАБОТКЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

При использовании пара котлов высокого давления российского производства для привода турбин, изготовленных по стандартам Евросоюза, а также при переходе от аммиачной обработки питательной воды к ее обработке аминами необходимо согласование норм и методов контроля качества этого пара. Примером служит опыт ТЭЦ давлением пара 9,8 МПа, имеющей паровую турбину фирмы Сименс. Питательная вода этой ТЭЦ обрабатывается реагентом PuroTech RLT 8 (далее - RLT8), являющимся композицией диэтилгидроксиламина (поглотителя кислорода) и других аминов. Добавочная вода глубоко обессолена. Нормирование УЭП_Н²⁵ пара направлено на предотвращение «солевого» заноса проточной части турбины и коррозии в зоне фазового перехода. Фактическое значение УЭП_Н²⁵ проб пара более норматива Сименс (0,2 мкСм/см) и находится в пределах от 0,4 до 1,2 мкСм/см при норме [1], равной 1,5 мкСм/см.

Чистота и отсутствие коррозионных повреждений внутренних поверхностей существующих на ТЭЦ паровых котлов и турбин в условиях коррекционной обработки питательной воды RLT8 свидетельствуют о целесообразности использования существующего аминного режима пароводяного и конденсатного трактов ТЭЦ.

Проверен вклад RLT8 в значения УЭП²⁵ и УЭП_Н²⁵ паров ТЭЦ. Этот вклад положителен, пропорционален дозе RLT8 и в условиях ТЭЦ не менее 0,3 мкСм/см. Лабораторная дегазация 4-кратным упариванием пробы пара (конденсата пара), полученного в котле из воды, обработанной RLT8, уменьшает значения УЭП²⁵ и УЭП_Н²⁵ пара. Это означает, что увеличение УЭП_Н²⁵ пара при обработке питательной воды реагентом PuroTech@ RLT 8 не угрожает образованием отложений в проточной части турбины. Целесообразен контроль качества пара по УЭП²⁵ дегазированной пробы.

Библиографический список

1. **СТО 70238424.27.100.027-2009.** Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. М.: НП «ИНВЭЛ», 2009. 176 с.

*П.Р. Артюхова, студ.; рук. Е.А. Карнычев, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА КОТЕЛЬНЫХ ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Основное назначение котельных – это выработка тепловой энергии с горячей водой, а кроме этого пара низких параметров для предприятий закрытого цикла.

Поддержание эффективного ВХР на котельных позволяет не только регулировать (снижать) тарифы на тепловую энергию, но и прогнозировать возможности модернизации свойства оборудования.

Проведено сравнение ВХР котельных МУП ИГТЭ № 37 и котельной МУП ЖКХ п. Колобово.

Выявлены несовершенства водно-химического режима котельной МУП ЖКХ п. Колобово и предложены мероприятия по устранению существующих недостатков.

На основе химического анализа были предложены несколько способов улучшения ВХР.

Уровень автоматизации котельной МУП ЖКХ п. Колобово, в сравнении с котельной МУП ИГТЭ № 37, существенно ниже, что является явным недостатком.

В анализе использовалась техническая документация с указанных энергообъектов, а именно: схемы, журналы, инструкции, технические отчеты о состоянии водно-химического режима.

По итогам обследования выявлено:

- необходимость модернизации ВПУ;
- необходимость ухода от подземного источника водоснабжения и переход на поверхностный источник;
- необходимость обновления технических устройств регулирования ВХР.

Библиографический список

1. **Водоподготовка**, водно-химический режим паровых котельных низкого давления, тепловых сетей и оборотных систем охлаждения: Учебное пособие/ В.Н. Виноградов, Л.Т. Андрианова, М.В. Кутуров, Ю.А. Морыганова, И.А. Шатова – Иваново: 1999.-NNN с.

*Г.С. Тассо, студ.; рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТОК

На внутренней поверхности котлов во время их работы, а также и во время простоя могут образовываться отложения различные по химическому составу и по структуре.

В основном эти отложения представляют собой [1]:

- первичную накипь, выделяющуюся на наиболее нагретых и теплонапряженных участках поверхности нагрева вследствие концентрирования солей-накипеобразователей в воде;
- вторичную накипь – прикипевшие к поверхности металла частицы шлама;
- продукты коррозии металла (либо входят в состав вторичных накипей, либо образуют первичные железистоокисные или медные накипи).

В современных условиях на первое место выходят проблемы повышения надежности и экономичности теплоэнергетического оборудования. Данные характеристики во многом зависят от состояния внутренних поверхностей пароводяных трактов и могут быть повышены при своевременном и качественном проведении мероприятий по их очистке от отложений и защите от коррозионных процессов. Такие очистки бывают двух видов: предпусковые и эксплуатационные.

Химические очистки предполагают использование эффективных, но химически активных реагентов (HCl , H_2SO_4 , H_3PO_4 и др.) [2], которые могут вызвать коррозию металлов и сплавов оборудования. Поэтому при проведении промывок необходимо добавлять ингибиторы.

Также химические очистки отличаются наличием высоко загрязнённых сточных вод, сброс которых может нанести серьёзный вред окружающей среде. Практика показала, что применение нейтрализации в данном случае малоэффективно, поэтому встает вопрос об очистке и утилизации образующихся стоков. При решении этой проблемы необходимо знать состав сточных вод, и уже в соответствии с ним подбирать необходимые способы очистки.

Библиографический список

1. **Кострыкин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровин О.В.** Водоподготовка и водный режим энергоблоков низкого и среднего давления (справочник). – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. **Химические очистки** теплоэнергетического оборудования Вып.2. / под ред. Т.Х. Маргуловой. М.: Энергия, 1978. – 175 с.

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

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ВОДЕ

В процессе эксплуатации установок очистки природных вод от механических частиц возникает необходимость оценки эффективности их работы. Оценить эффективность очистки природных вод от механических и коллоидных примесей можно путем определения коллоидного индекса (SDI).

Определение коллоидного индекса (SDI) основывается на пропуске исследуемой воды через мембранный фильтр (пор. 0,45 мкм) при постоянном давлении 2,1 атм. Коллоидный индекс характеризуется отношением длительностей наполнения фильтратом мерной емкости в начале эксперимента и прошествии некоторого времени, в течение которого продолжается фильтрование.

Авторами разработан стенд для определения коллоидного индекса технологических вод, получены промежуточные результаты измерения SDI, описан алгоритм работы стенда для последующего его внедрения в учебный процесс.

Значение коллоидного индекса (SDI) рассчитывается с использованием формулы (1)

$$KI_T = \frac{100}{t_n} * (1 - \frac{t_0}{t_n}) \quad (1)$$

где KI_T – значение коллоидного индекса при времени фильтрования; t_n – время отбора последних 500 мл воды (в секундах) через 5, 10, 15 мин. соответственно; R – коэффициент пропускания при установленном давлении; t_0 – время отбора 500 мл воды в секундах.

Промежуточные результаты измерения коллоидного индекса представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета коллоидного индекса и коэффициента пропускания при заданном давлении в технологических водах

Анализируемая вода	SDI ⁵	SDI ¹⁰	SDI ¹⁵
Дистиллированная вода	2,22	1,489	1,22

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

ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС И КОТЕЛЬНЫХ

Уголь является одним из используемых органических ископаемых топлив, используется для производства тепловой и электрической энергии.

Анализ состава различных углей показывает, что один из важнейших показателей качества угля – его зольность (A_p), характеризующая минеральную составляющую. Таким образом, уголь может рассматриваться не только как органическое, но и как органоминеральное сырье, в котором комплексной переработке может быть подвергнута не только органическая, но и минеральная часть. В перспективе проблема утилизации золошлаковых отходов (ЗШО) может быть решена: если при обогащении углей будет комплексно использоваться минеральная часть с выделением из нее металлов и сернистых компонентов - для новых объектов; для действующих золошлакоотвалов необходимо внедрять технологии переработки, учитывающие химический и фракционный состав ЗШО; организация раздельного сбора золы и шлака из систем золошлакоудаления энергетических котлов.

Мировой опыт свидетельствует о возможности 70-80%-ой утилизации золы и шлака, а в настоящее время есть статистические данные говорящие о том, что в Скандинавских странах уровень утилизации золы ТЭЦ довели до 100 %. Выделяют 4 основных направления переработки ЗШМ (в порядке убывания популярности):

- строительные материалы (цемент, кирпич, блоки, стеновой материал);
- дорожное строительство (наполнители для дорожного полотна);
- производство различных наполнителей (аглопорит);
- сельское хозяйство (микроудобрения).

В России ЗШО сегодня перерабатывают в малых объемах: добавляют в цементы и в клинкер. Золошлаковые отходы способны произвести настоящую революцию, т.к. обладают уникальными особенностями.

Библиографический список

1. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Афанасьева О.В., Федотов А.И., Ермолаев Д.В. Современные тенденции переработки и использования золошлаковых отходов ТЭС и котельных // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.; Режим доступа: <http://www.scienceeducation.ru/ru/article/view?id=16475>.

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

ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Работа современных промышленных предприятий невозможна без образования большого количества сточных вод.

В настоящее время повышаются требования к составу и очистке сточных вод. В составе сточных вод могут быть следующие загрязнения: механические; химические; биологические; тепловые; радиоактивные.

Состав сточных вод различен и поэтому требуются разные методы очистки. Существуют следующие методы очистки сточных вод: механическая; химическая; биологическая; физико-химическая.

В каждой отрасли промышленности состав сточных вод разный, поэтому их очистка будет различаться на: неорганические загрязнения, в том числе и токсичные органические; неорганические примеси и органические.

Одной из проблем утилизации сточных вод на ТЭС, которая образуется при работе водоподготовительной установки, а вторая сточные воды отбрасывают химические промывки различного оборудования.

Удаление примесей без изменения их химического состава включает:

механическая очистка с использованием механических фильтров, отстаивания, процеживания, флотации и т.д.; при постоянном химическом составе меняется фаза: выпаривание, дегазация, экстракция, кристаллизация, сорбция и т.д.

Местная система очистки стоков основывается на многих методах очистки. Они подбираются под определенный вид сточных вод: взвешенные частицы удаляются в гидроциклонах; загрязнения мелкой фракции и осадок удаляют в непрерывных или периодических центрифугах; флотационные установки эффективны в очистке от жиров, смол, тяжелых металлов; газообразные примеси удаляются дегазаторами [3].

Очистка стоков с изменением химического состава примесей так же подразделяется на несколько групп: переход в труднорастворимые электролиты; образование мелкодисперсных или комплексных соединений; распад и синтез; термолиз; окислительно-восстановительные реакции; электрохимические процессы.

Эффективность биологических методов очистки зависит от видов примесей в стоках, которые могут ускорить или замедлить разрушение отходов: наличие токсичных примесей; повышенная концентрация минеральных веществ; питание биомассы; структура примесей; биогенные элементы; активность среды.

Существующие примеси должны быть подвержены биологическому распаду. Химический состав стоков влияет на скорость биохимических процессов. К примеру, первичные спирты окисляются быстрее, чем вторичные. При повышении концентрации кислорода биохимические реакции протекают быстрее и качественнее.

Очистка сточных вод происходит в несколько этапов с использованием разных методов и технологий. Комбинация из нескольких методов является максимально экономной на предприятиях промышленности.

Удаление крупных частиц и масел, нейтрализация токсинов является предварительной очисткой. В нее входит коагуляция, флокуляция, смешивание, отстаивание, просеивание. Удаление всех механических примесей и подготовка воды к третьей стадии может состоять из осаждения, флотации, сепарации, фильтрации, деэмульгации. Вторичная обработка включает химическое окисление, обезвреживание, биохимия, электрокоагуляция, электрофлотация, электролиз, мембранная очистка. Удаление растворимых веществ является глубокой очисткой – сорбция активированным углем, обратный осмос, ионный обмен.

Химический и физический состав определяет набор методов на каждом этапе. Допускается исключение некоторых стадий при отсутствии определенных загрязнений. Однако вторая и третья стадия являются обязательными в очистке промышленных сточных вод [1].

Также предусмотрена возможность совместной очистки производственных сточных вод и хозяйственно-бытовых стоков на городских очистных сооружениях при соблюдении следующих требований: отсутствие взрывоопасных компонентов; отсутствия загрязнений, агрессивных по отношению к материалу городской сети; нейтральная реакция; температура меньше 40 градусов С; БПК (полн.) меньше 500 мг/л; содержание солей не выше 20 г/л [2]. Если соблюдать перечисленные требования, то отвод сточных вод предприятий не нанесет ущерб экологической обстановки окружающей среды.

Библиографический список

1. СанПиН 2.04.03.-85. Канализация. Наружные сети и сооружения // М. 1986.
2. Справочное пособие к СанПиН 2.04.03.– 85. Проектирование сооружений для очистки сточных вод // М.: Стройиздат. 1990.
3. С.В.Яковлева, Я.А.Карелин, Ю.М.Ласков, Ю.В.Воронов. Очистка производственных сточных вод. М.: Стройиздат, 1985.-135с., ил.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТИВОТОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ СВО-5

Система СВО-5 является вспомогательной системой нормальной эксплуатации и входит в комплекс систем спецводоочистки.

Система СВО-5 выполняет следующие функции: очистку продувочной воды парогенераторах; доочистку дебалансных вод реакторного цеха при использовании этих вод в цикле второго контура или при сбросе их в окружающую среду; очистку вод баков системы продувки первой очереди и баков слива воды ПГ второй очереди.

Для первой и второй очереди Калининской АЭС система СВО-5 является общей для двух энергоблоков и предназначена для очистки продувочной воды ПГ с целью возврата этой воды на подпитку 2 контура. В ее состав входят механические фильтры, катионитные фильтры, анионитные фильтры и ловушка.

Продувочная вода парогенераторов содержит различные соли, которые выделяются из питательной воды при ее испарении. Кроме того, в продувочной воде ПГ могут содержаться продукты коррозии, накипеобразующие примеси и другие частицы, находящиеся в дисперсной или коллоидной форме масло и химические реагенты, дозируемые в воду 2 контура для ведения ВХР.

Для очистки продувочной воды ПГ в системе СВО-5 используются ионообменные фильтры, работающие по прямоточной технологии. В качестве фильтрующего материала в фильтры загружаются ионообменные смолы (иониты), их еще называют сорбентами.

Переход с прямоточной технологии обессоливания воды на противоточную технологию UPCORE позволяет: сократить число установленных фильтров, арматуры и трубопроводов в 2-2,5 раза; уменьшить потребность воды на собственные нужды ВПУ в 2-4 раза; снизить расход химических реагентов на регенерацию ионитов в 1,5-2,0 раза; увеличить продолжительность фильтроциклов ионитных фильтров и улучшить качество воды по стадиям ионирования за счет применения высококачественных ионитов Dowex Monosphere; снизить количество сточных вод в 2-4 раза.

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

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТАНОЛАМИНА ПРИ ВЕДЕНИИ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АЭС

Для снижения коррозии накипеобразования на теплопередающих поверхностях ведется водно-химический режим (ВХР). На большинстве АЭС исполняется гидразино-аммиачный режим для ВХР второго контура. В ходе эксплуатации было выявлено, что при принятом в настоящее время гидразино-аммиачным ВХР второго контура водная фаза паровой смеси имеет пониженное значение рН, что приводит к усиленной коррозии металла, соприкасающегося с водяной пленкой. Щелочные свойства аммиака с ростом температуры значительно снижаются, что приводит к уменьшению значений рНt в конденсате отборов пара.

Исследованиями показано, что повышение рН25 от нейтрального значения в щелочную область существенно уменьшает скорость эрозионно-коррозионного износа углеродистой стали.

В настоящее время при ведении ВХР широко применяются пленкообразующие амины. В частности, этаноламин (ЭТА) хорошо реализуется в ряде западных АЭС.

Этаноламин - пленкообразующее поверхностно-активное вещество. Представляет собой бесцветную, вязкую, гигроскопичную маслянистую жидкость, горюч, токсичен, имеет резкий аммиачный запах. Контактная с конструкционными материалами оборудования, ЭТА создает на их поверхности сплошную гидрофобную (несмачиваемую) пленку, преграждающую доступ ионов раствора к металлу.

Так, на Балаковской АЭС было проведено испытание, которое показало, что при дозировании ЭТА концентрация железа в питательной воде ПГ снизилась до уровня менее 5 мкг/дм³, также обеспечивалось устойчивое поддержание значений рН25°C=9,05-9,15. во всех потоках, также после введения ЭТА на теплообменной поверхности ПГ содержание меди в отложениях снизилось в 3,3 раза. Таким образом, замена гидразин-аммиачного режима контура АЭС на ЭТА позволяет существенно снизить скорость эрозионно-коррозионного износа элементов 2-го контура, определяющих уровень допустимой повышенной мощности.

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВПУ КОСТРОМСКОЙ ГРЭС

На ТЭС России обессоливание осветленной воды выполняется химическим, термическим или мембранным методами. Преобладающими является традиционное химическое обессоливание, в то же время непрерывно растет число установок обратного осмоса (УОО). Это связано с тем, что ужесточаются требования к качеству сбросных вод ТЭС, что в свою очередь заставляет станции искать пути решения для уменьшения объемов стоков и снижения количества загрязняющих веществ в них. Одним из решений является применение УОО, которые по экологическим показателям имеют существенные преимущества перед традиционными ионообменными установками.

Основной задачей данной научно-исследовательской работы (НИР) был поиск путей улучшения экологические показатели водоподготовительной установки (ВПУ) Костромской ГРЭС путем внедрения новых мембранных технологий – УОО и УЭДИ. Был проведен анализ двух схем ВПУ: трехступенчатой схемы химического обессоливания и схемы глубокого обессоливания воды на базе мембранных методов.

По результатам проделанных расчетов предлагаемая схема на основе мембранных технологий с дообессоливанием на УЭДИ по экологическим показателям имеет значительное преимущество, поскольку за счет ее внедрения уменьшаются удельный сброс минеральных солей, суточный сброс, суммарный суточный сброс, коэффициент экологичности и объем «приведенного» стока. Предлагаемая схема может считаться экологичной, поскольку $K_{\text{экол}} < 1$ (0,9 г/г) и суточный сброс солей $\Delta G_{\text{сут}} < 0$ (-96,524 кг/сут).

Однако по технологическим и технико-экономическим показателям предлагаемая схема уступает трехступенчатому химическому обессоливаню: $K_{\text{с.н.}} = 103,49$ %, когда для существующей схемы $K_{\text{с.н.}} = 18,6$ % [1].

По результатам расчета можно сделать вывод, что применение мембранных методов приведет к снижению нагрузки на окружающую среду в процессе эксплуатации ВПУ Костромской ГРЭС.

Библиографический список

1. Бушуев Е.Н., Опарин М.Ю. Малоотходные технологии водоподготовки на ТЭС. Иваново: ИГЭУ, 2010.

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

КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ В ЭКРАННЫХ ТРУБАХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Для обеспечения надёжной работы парового котла периодически проводят эксплуатационные очистки внутренних поверхностей пароводяного тракта. Для таких очисток могут быть использованы традиционные и новые моющие кислотные реагенты. Для разработки программы эффективной химической очистки требуется прогнозировать её необходимую длительность с учётом свойств моющего реагенты и загрязнённости поверхности металла отложениями. Недостаточная продолжительность очистки приводит к остаточной загрязнённости поверхности больше предельно допустимой, а избыточная – к растворению очищаемого металла. Необходимое время химической очистки принято определять по результатам лабораторных опытов. Целью работы является получение аналитических зависимостей и определение характеристик, описывающих кинетику кислотной стадии химической очистки паровых котлов.

Проведены лабораторные исследования кислотной стадии химической очистки образцов экранных труб котлов высокого давления с использованием метода химического травления. При этом определены скорости и полнота удаления бугорчатых и равномерных отложений кислотными реагентами. Для получения кинетического уравнения использован метод математического моделирования. Предложено описание скорости удаления отложений с внутренней поверхности экранных труб в виде кинетического уравнения общего второго порядка – первого порядка по кислотности моющего раствора и первого порядка по удельной загрязнённости очищаемой поверхности. Определены условные константы скоростей химической очистки методами статистической обработки результатов лабораторного исследования. Проведена проверка адекватности предложенного кинетического уравнения.

Библиографический список

1. **Химические** очистки теплоэнергетического оборудования. Вып. 2 / под ред. Т. Х. Маргуловой. – М.: Энергия, 1978. –175 с.
2. **Федорова, А.Ю.** Определение кинетических характеристик химической очистки от отложений в испарительных трубах паровых котлов / А.Ю. Федорова, Е.Н. Бушуев // Вестник ИГЭУ, 2012. – вып. 4. – С. 5-11.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ УМЯГЧЕННОГО КОНЦЕНТРАТА УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА

Использование мембранных технологий является перспективным направлением совершенствования водоподготовительных установок (ВПУ) на ТЭС и АЭС. Одним из существенных недостатков применения установок обратного осмоса (УОО) является повышенный расход образующихся сточных вод.

Для улучшения технологических характеристик УОО предлагается [1] использование схемного решения, предусматривающее подмешивание к обрабатываемой воде перед УОО части ее концентрата умягчённого на Н-карбоксильном фильтре. Регенерация катионита производится стехиометрическим расходом серной кислоты. Образующиеся после регенерации сточные воды отводятся в кристаллизатор гипса, а получаемый при этом осадок, обезвоживается и утилизируется.

Для анализа предложенной технологии была разработана методика позволяющая выполнять технологический расчёт такой ВПУ. Расчётная методика была реализована в математическом пакете MathCAD.

С использованием разработанной программы были проведены многовариантные расчёты схемы ВПУ с утилизацией части умягчённого концентрата УОО в широком диапазоне минерализации обрабатываемой воды и производительности. Анализ полученных результатов показал, что применение такой технологии позволяет вернуть на вход в УОО до 80 % от количества образующегося концентрата, что ведет к уменьшению количества образующихся стоков, а также снижает расход реагентов используемых при предварительной обработке исходной воды перед УОО. Подмес умягчённого концентрата к исходной воде УОО уменьшает вероятность образования карбонатных отложений на мембране, что позволяет упростить, а в ряде случаев отказаться от обработки исходной воды перед УОО. Утилизация части умягчённого концентрата УОО значительно сокращает количество сбрасываемых солей в водоём. Прослеживается снижение удельного сброса солей.

Библиографический список

1. Юрчевский, Е.Б. Расчетно-экспериментальное обоснование схем утилизации концентрата, образующегося в цикле обратноосмотических обессоливающих установок / Е.Б. Юрчевский, В.В. Солодяников // Теплоэнергетика. 2018. № 7. –С. 92–98.

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

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭС

Водоподготовительная установка (ВПУ) на ТЭС предназначена для получения добавочной воды для восполнения потерь водного теплоносителя в основном контуре. В настоящее время для этой цели используются химические, термические и мембранные методы подготовки воды. Эти методы требуют существенных затрат тепловой энергии, химических реагентов, фильтрующих материалов и полупроницаемых мембран. Проблема ресурсосбережения является одной из самых актуальных и обсуждаемых в наше время. Предложено большое количество мероприятий по ресурсосбережению в водоподготовке, а также по повышению технологических, экологических и технико-экономических показателей.

Проведенный анализ литературных источников показал, что перспективными направлениями снижения потребности реагентов при обессоливания являются применение:

- противоточных технологий деминерализации воды [1];
- термического метода на базе испарителей мгновенного вскипания;
- мембранных технологий водообработки.

При выборе ресурсосберегающей технологии необходимо учитывать также технологические и экологические показатели.

Перспективными методами обработки в настоящее время являются мембранные технологии [2] и, прежде всего, обратный осмос, электродеионизация, ультрафильтрация, нанофильтрация. Эти технологии по сравнению с традиционными технологиями требуют пониженные расходы реагентов, а значит, характеризуются высокими экологическими показателями. Однако такие установки характеризуются высокой стоимостью, высокими требованиями к качеству обрабатываемой воды, а также повышенными расходами воды на собственные нужды.

Проведенное исследование показало необходимость анализа существующих и разработка новых мероприятий по повышению энерго- и ресурсосбережению на водоподготовительных установках ТЭС.

Библиографический список

1. **Бушуев, Е.Н.** Малоотходные технологии водоподготовки на ТЭС: учебное пособие / Е. Н. Бушуев, М. Ю. Опарин; ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". –Иваново., 2010. –104 с.
2. **Бушуев, Е.Н.** Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов: учебное пособие / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева; ФГБОУВО "Ивановский гос. энергетический ун-т им. В. И. Ленина". –Иваново.; 2017. –144 с.

*М.П. Савинов, инженер («Атомтехэнерго» Калининский филиал),
К.М. Лебедева, студ.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ АМИНСОДЕРЖАЩЕГО РЕАГЕНТА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В настоящее время на большинстве энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 России реализуется аммиачно-этаноламинный водный режим второго контура [1]. Преимуществом такого водно-химического режима (ВХР) считается минимальная скорость коррозии стали конденсатно-питательного тракта, включая парогенератор, при сохранении высокой степени чистоты теплоносителя по показателю удельной электропроводности Н-катионированной охлажденной пробы ($\chi_{\text{H}}^{25} < 0,3$ мкСм/см).

Авторами проведен анализ состояния аммиачно-этаноламинного водно-химического режима второго контура двух энергоблоков. Высокая затратность (стоимость) лабораторных химических анализов с периодическим отбором проб теплоносителя в лабораторию делает правомерным поиск автоматических анализаторов, способных заменить если не полностью, то частично большой объем химического контроля качества воды и пара на АЭС. Авторами использован анализатор «Лидер-АПК», разработанный предприятием «НПП «Техноприбор» (г. Москва). Анализатор «Лидер-АПК» предназначен для измерений водородного показателя, приведенного к 25 °С, (pH^{25}) и концентрации аммиака в питательной воде, паре и обессоленной воде (далее «пробе») в системах контроля технологических процессов на электростанциях и других производствах.

В результате исследований показана возможность оперативного контроля показателя рН, суммарной концентрации аммиака и ЭТА в питательной воде и паре ПГ и концентрации ЭТА в «котловой воде» парогенератора по измерениям удельной электропроводности охлажденных проб (прямой и Н-катионированной).

Библиографический список

1. **Тяпков В.Ф., Ерпылева С.Ф.** Водно-химический режим II контура АЭС с вододонным энергетическим реактором // Теплоэнергетика. 2017. №5. С. 48-55.

В.В. Козловский, инженер
(ООО «Водные технологии-инжиниринг», г. Москва),
А.В. Чельшева, студ.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ РЕАГЕНТА «ВТИАМИН ТС-5» В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ТЭС

В рамках программы импортозамещения на филиалах ООО «Башкирская Генерирующая Компания» была начата замена импортных реагентов марки KURITA EUROPE GmbH на аналоги отечественного производства марки «ВТИАМИН» в системах оборотного охлаждения (СОО) на объектах генерации. Для реализации программы использовалась методика комплексного исследования водного режима СОО ТЭС [1].

СОО Приуфимской ТЭЦ ООО «БГК» - открытая с башенными градирнями пленочного типа; предусмотрена для охлаждения конденсаторов турбин, систем газо- и маслоохлаждения, подшипников вращающихся механизмов. Для проведения опытно-промышленных испытаний в стенд установлено 3 латунных и 1 стальной индикатор на период 24.05.18 – 02.07.18. Индикаторы готовились согласно методике гравиметрического метода определения скорости коррозии по РД 153-34.1-17.465-00. После снятия индикаторы были осмотрены и обработаны по РД 153-34.1-17.465-00. Согласно данным, полученным во время испытаний в 2018 году, была показана необходимость непрерывной реагентной обработки подпиточной воды СОО в целях предотвращения процессов накипеобразования. Реагент ВТИАМИН ТС-5 проявил высокую антинакипную эффективность.

На Салаватской ТЭЦ дозирование ВТИАМИН ТС-5 осуществлялось в период 07.09.18 - 01.10.18. Анализ эксплуатационных данных свидетельствует о достижении безнакипного режима эксплуатации оборудования, минимизации образования отложений на теплопередающих поверхностях, снижении микробиологического обрастания и коррозии. Расчетом показано, что введение реагента ВТИАМИН ТС-5 увеличивает вакуум в конденсаторе в среднем на 0,29%, абсолютное давление в конденсаторе при этом уменьшается в среднем на 0,0026 ата, что увеличивает мощность турбогенератора в среднем на 700 кВт.

Библиографический список

1. **Козловский В.В., Ларин А.Б.** Методика исследования состояния водного режима системы оборотного охлаждения на ТЭС // Вестник ИГЭУ. 2019. №3. С. 14-21.

*Е.В. Авдеева, маг.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц., Пекунова А.В.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ НА УСТАНОВКАХ ОБРАТНОГО ОСМОСА

В последнее время установки обратного осмоса (УОО) широко используются для получения обессоленной воды на ТЭС. Одним из основных недостатков этих установок является большой расход воды на собственные нужды. Для простой однокаскадной схемы УОО, когда все модули соединены параллельно, гидравлический КПД обычно не превышает 60 %.

Для повышения выхода пермеата широко используют на УОО многокаскадность и подмес части концентрата к исходной воде. Эти мероприятия позволяют увеличить гидравлический КПД до 70–85 %. Однако их применение ограничивается увеличением вероятности образованием минеральных отложений на поверхности мембран. Одним из вариантов решения этой проблемы является схемное решение [2] представленное на рис. 1.

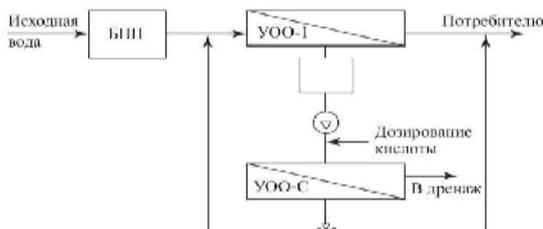


Рисунок 1 – Схема УОО с доочисткой концентрата: БПП – блок предварительной подготовки исходной воды; УОО-С – обратноосмотическая установка для доочистки концентрата с УОО-1 и его возврата в цикл

Получаемый концентрат с УОО собирается в промежуточный бак и для обеспечения необходимого рН и предотвращения отложения солей жесткости в УОО-С обрабатывается кислотой. Пермеат с УОО-С в зависимости от его качества направляется либо на доочистку, либо подмешивается к потоку основного пермеата. Такое схемное решение позволяет обеспечить гидравлический КПД 92–94 % [2].

Библиографический список

1. Бушуев, Е.Н. Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов: учебное пособие / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева; ФГБОУВО "Ивановский гос. энергетический ун-т им. В. И. Ленина". –Иваново:, 2017. –144 с.

СЕКЦИЯ 3

ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

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

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

*А.Р. Галимова, студ. (КГЭУ, г. Казань),
М.А. Антонов, маг. (НХТИ, г. Нижнекамск);
рук. А.В. Дмитриев, д.т.н. (КГЭУ, г. Казань)*

РАЗРАБОТКА ВСТАВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Проблема отделение воды из водонефтяной эмульсии является актуальной проблемой для нефтехимической отрасли [1]. Существуют различные способы разрушения эмульсий: термическое или электрическое воздействие, деэмульсация, механические и др. Среди них наиболее дешевыми является механические – использование простых аппаратов: отстойники, сепараторы и др. Существенным недостатком данных аппаратов является их низкая производительность. В связи с этим интенсификация разделения водонефтяных эмульсий является актуальной задачей [2].

Для решения поставленной задачи были разработаны и исследованы вставки с гофрированными перегородками, которым располагались под различными углами в отстойниках. В ходе исследований было выявлено, что наиболее эффективными являются вставки, которые располагаются под углом 135° .



Рисунок 1 – Вставки с гофрированными перегородками, расположенных под углом 135°

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 616.2020.8.

Библиографический список

1. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Данг С.В., Салахова Э.И. Удаление влаги из загрязненного трансформаторного масла в прямоугольных сепараторах // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 11. С. 75-79.
2. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Данг С.В. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 3 (39). С. 65-71.

*В.Э. Зинуров, асп., А.Р. Галимова, студ., Н.И. Баязитова студ.;
рук. О.С. Попкова, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТСТОЙНИКА

На сегодняшний день практически вся нефть в мире добывается в обводненном состоянии. Интенсивное перемешивание нефти с водой при добыче приводит к образованию стойких водонефтяных эмульсий [1]. Образование эмульсий - основная причина больших потерь нефти, удорожания ее транспортировки и подготовки к переработке. Поэтому интенсификация процессов разделения водонефтяной эмульсии на ее составляющие компоненты является важной задачей [2].

В работе были исследованы вставки с гофрированными перегородками для горизонтальных отстойников, интенсифицирующих процесс разделения эмульсий. Наиболее эффективные вставки, расположенные под углом 45° (рис. 1).

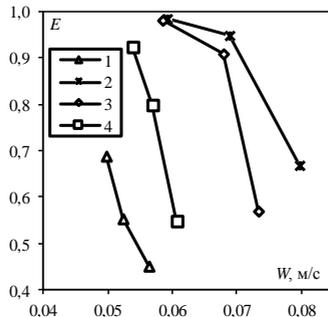


Рисунок 1 – Зависимость изменения эффективности отстойника от скорости эмульсии при различных вставках: 1 – без вставок; 2 – вставки с перегородками, расположенных под углом 45° ; 3 – вставки под углом 135° ; 4 – вставки с перекрестными перегородками

Работы выполнены при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 616.2020.8.

Библиографический список

1. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Данг С.В., Салахова Э.И. Удаление влаги из загрязненного трансформаторного масла в прямоугольных сепараторах // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 11. С. 75-79.
2. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Данг С.В. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 3 (39). С. 65-71.

С. Д. Семашкин, студ.; Н. В. Панов, студ.;
рук. Г. С. Закожурникова, к.т.н.
(ВолгГТУ, г. Волгоград)

ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА

Наиболее распространенным получением карбида вольфрама (WC) является прокаливание смеси вольфрама с сажей в атмосфере окиси углерода и в среде водорода с образованием ацетилена, который устойчив при температуре карбидизации и служит переносчиком углерода. В этих случаях образование карбида вольфрама осуществляется по реакциям: $C + CO_2 = 2CO$; $2CO + W = WC + CO_2$ и $2C + H_2 = C_2H_2$; $2W + C_2H_2 = 2WC + H_2$ соответственно.

На рис. 1 показана зависимость энергии Гиббса от температур, служащих критерием направления процесса для химических реакций получения карбида вольфрама.

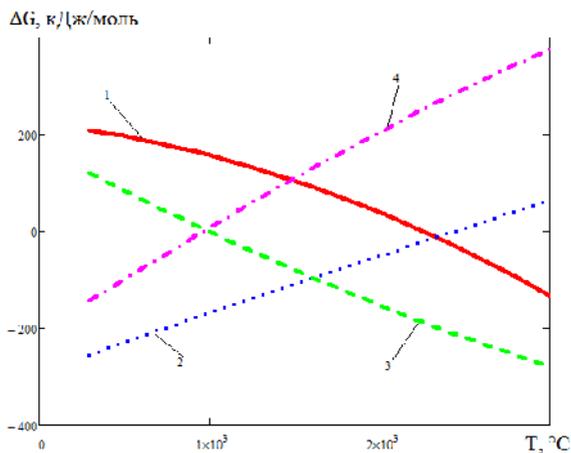


Рисунок 1 - Зависимость энергии Гиббса от температуры для реакций: 1 - $2C + H_2 = C_2H_2$; 2 - $2W + C_2H_2 = 2WC + H_2$; 3 - $C + CO_2 = 2CO$; 4 - $2CO + W = WC + CO_2$

Для более эффективного учета влияния химии процесса рассмотрены основные химические реакции получения карбида вольфрама и реакции с образованием газообразных составляющих.

Библиографический список

1. Самсонов, Г.В. Карбиды Вольфрама / Г.В. Самсонов, В.К. Витрянюк, Ф.И. Чаплыгин. — Киев: Наукова думка, 1974. — 178с.

*П.Н. Кононенко, студ., Ю. З. Васильева, асп.; рук. А. Я. Пак, к.т.н.
(ТПУ, г. Томск)*

ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДА МОЛИБДЕНА В АТМОСФЕРНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЕ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Карбиды молибдена обладают высокой электропроводностью, каталитической активностью и прекрасной химической стабильностью, что делает возможным применение их в качестве дешевых катализаторов по сравнению с металлами платиновой группы в реакциях генерации водорода из воды [1-3]. В данной работе описаны результаты получения карбидов молибдена с использованием безвакуумного электродугового метода, в котором не происходит окисление полученного материала из-за образования CO_2 и CO , которые экранирует реакционную зону от кислорода воздуха, т.е. синтез материала происходит в открытой воздушной среде.

Исследования проводились на авторском электродуговом стенде. Графитовые электроды подключались к источнику постоянного тока; на дно катода, выполненного в виде тигля, помещалась смесь графита и порошка молибдена. Регистрация зависимостей тока дуги и напряжения выполнялась двухканальным осциллографом. Полученный материал оседал на стенках катода, собирался и далее анализировался различными методами, например, методом рентгеновской дифрактометрии (Shimadzu XRD 7000s, $\text{CuK}\alpha$ – излучение).

Анализ результатов показал наличия следующих кристаллических фаз в продукте: молибден Mo (кубическая структура), графит gC , две фазы карбида молибдена – орторомбическая Mo_2C и гексагональная $\text{Mo}_{1,2}\text{C}_{0,8}$. В результате проведенной серии экспериментов установлена экспериментальная возможность получения карбидов молибдена, которые согласно литературным данным можно использовать в качестве катализаторов реакций для водородной энергетики.

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК-633.2019.8).

Библиографический список

1. **Yufei Maa, Guoqing Guana, Xiaogang Haoc et al.** Molybdenum carbide as alternative catalyst for hydrogen production – A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 75. P. 1101–1129.
2. **Lili Lin, Wu Zhou, Rui Gao et al.** Low-temperature hydrogen production from water and methanol using $\text{Pt}/\alpha\text{-MoC}$ catalysts // *Nature*. 2017. Vol. 544 (7648). P. 80-83.
3. **Jiangnan Xing, Yang Li, Siwei Guo et al.** Molybdenum carbide in-situ embedded into carbon nanosheets as efficient bifunctional electrocatalysts for overall water splitting // *Electrochimica Acta*. 2018. Vol. 298. P. 305-312.

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

ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ ЦЕНТРА «ИГЭУ – DE DIETRICH»

В Международном российско-французском учебно-научном центре (УНЦ) энергоэффективных технологий «ИГЭУ – De Dietrich» установлены 15 водогрейных котлов малой мощности. Это котлы серии GT120, G1200, GT 300/II, CITY 2.24, DTG 13, DTG 1300, DTG 220, DTG 320, C210, C310, MC. Котлы предназначены для отопления и горячего водоснабжения, имеют газовые или жидкотопливные горелки, которые обеспечивают надежную, экономичную и бесшумную работу.

В настоящее время для котлов, установленных в УНЦ используют в качестве теплоносителя водопроводную воду, которая не подходит для отопительной работы оборудования. Применение такой воды может вызвать коррозию, накипеобразование, что отрицательно сказывается на работе оборудования.

Производители установок предъявляют следующие требования для питательной воды котла (см. таблицы 1 и 2).

Таблица 1 – Требуемые характеристики для воды системы отопления для напольных чугунных котлов GT, DTG

Водородный показатель	7,5 – 10,5 рН
Жесткость	< 5 мг-экв/л

Таблица 2 – Требуемые характеристики для воды системы отопления для настенных (МСА) и напольных (С) конденсационных котлов с теплообменником из сплава алюминия с кремнием

Водородный показатель (неподготовленная вода)	6,5 – 8,5 рН
Водородный показатель (подготовленная вода)	7 – 9 рН
Удельная проводимость	< 500 мкСм/см при 25°C
Хлористые соединения	< 20 мг/л
Кислород	< 0,1 мг/л
Другие компоненты	< 1 мг/л

Для централизованных систем водоснабжения существуют требования к качеству воды в СанПиН 2.1.4.1074-01 и СанПиН 2.1.4.559-96. Они приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Токсикологические требования к качеству воды централизованных сетей

Водородный показатель	6 – 9 рН
Жесткость общая	В пределах 7-10 мг-экв/л
Хлористые соединения	Не более 350 мг/л
Сульфаты	Не более 500 мг/л
Окисляемость	5 мг/л

Из таблиц видно, что вода не соответствует предъявляемым характеристикам, поэтому нужно назначить водно-химический режим. Оптимальным вариантом является Н-«голодная» регенерация и Na-катионирование.

Библиографический список

1. Козюлина Е.В., Ларин Б.М. Технология и контроль топлива в системе водогрейных котлов лаборатории Центра энергоэффективных технологий. г. Иваново, 2010. 56 с.

СЕКЦИЯ 4

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Председатель –
д.т.н., доцент **Бушуев Е.Н.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Корочкина Е.Е.**

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Основное назначение биогазовых или биоэнергетических установок заключается в генерации энергии в виде топлива – биогаза, который получается в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Задача энергетиков заключается в обеспечении оптимального для жизнедеятельности микроорганизмов микроклимата за счет обогрева корпуса биореактора и создания равномерного температурного поля в рабочей зоне реактора путем перемешивания, разбивания корки на поверхности ванны и т.д.

Математическое моделирование процессов получения биогаза в метантенке основано на решении сопряженной задачи тепломассообмена и биохимической задачи удельного выхода биогаза или совместной задачи расчета процессов разной физической природы [1]. При выделении биогаза изменяется поле концентраций и температур в рабочей зоне реактора, и таким образом биохимические процессы влияют на тепломассообмен в биореакторе.

В настоящее время сопряженные задачи теплообмена и массообмена решают при помощи современных программных вычислительных комплексов в трехмерной постановке, а модели анаэробной ферментации субстрата чрезвычайно сложны и поэтому получены в нульмерной постановке для стационарного режима работы биогазовой установки [2].

Разработка замкнутого математического описания совместных биохимических процессов и тепломассообмена в реакторе биогазовой установки с целью повышения эффективности ее работы является актуальной задачей.

В научной работе описаны современные подходы к решению данной задачи.

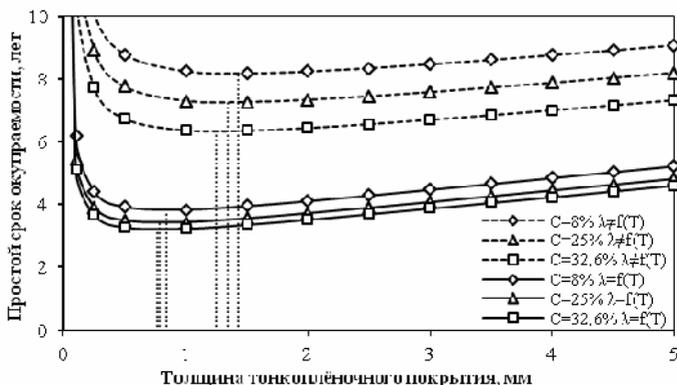
Библиографический список

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. **Суслов Д.Ю.** Получение биогаза в биореакторе с барботажным перемешиванием: автореферат дис. ... кандидата техн. наук. – Иваново, 2013. – 15 с.

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

РАСЧЁТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Для сокращения потерь тепловой энергии применяют тепловую изоляцию органического и неорганического происхождения с дополнительным слоем тонкопленочного покрытия, состоящего из твердого раствора полых микросфер, расположенных в дисперсии акрилового полимера. В настоящее время нет данных о тепловом состоянии и эффективности использования такой комбинированной тепловой изоляции в зависимости от состава энергосберегающего тонкопленочного покрытия и нелинейности его теплофизических свойств, поэтому данное исследование весьма актуально. Решение поставленной задачи выполнено методами математического моделирования [1,2].



На рисунке показана оптимальная толщина тонкопленочного покрытия, при которой наблюдается минимум простого срока окупаемости энергосберегающего проекта в зависимости от концентрации микросфер и учёта нелинейности решаемой задачи.

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. Исследование энергетической эффективности покрытий для утепления зданий / В.В. Бухмиров, А.К. Гаськов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. - №8. – С. 7–11.

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

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА ДЛЯ КОНДЕНСАЦИИ ПАРОВ ДИХЛОРЭТАНА

Для конденсации паров различных веществ применяются теплообменные аппараты смешивающего и поверхностного типа. В конденсаторах смешивающего типа пар конденсируемого вещества непосредственно соприкасается с охлаждающей водой. Конденсацию в таких аппаратах обычно проводят в тех случаях, когда конденсируемые пары не представляют ценности. В этом случае для улучшения теплообмена между водой и паром поверхность соприкосновения между ними увеличивают путём распределения воды в паровом пространстве в виде капель, струек и т.д.

В конденсаторах поверхностного типа (рекуператорах) теплота отводится от конденсируемого пара через разделяющую твёрдую стенку. Обычно пар конденсируется на внешних или внутренних поверхностях труб, омываемых с противоположной стороны охлаждающей водой или воздухом. В этом случае конденсат может быть вторично использован в технологическом процессе. Рекуперативные конденсаторы часто применяются, когда охлаждение конечного продукта является завершающей стадией технологического процесса.

Авторами был проведен тепловой расчет кожухотрубного испарителя с трубными пучками из U-образных труб для конденсации паров дихлорэтана. В данном теплообменном аппарате, расположенном горизонтально согласно ГОСТ 14248-79, горячий теплоноситель (дихлорэтан) движется по трубам. Был произведен конструктивный расчет дефлегматора. Определена площадь поверхности теплообмена, общее число труб, число ходов по трубному пространству.

При гидравлическом расчете были определены сопротивления конденсатора в трубном пространстве.

Библиографический список

1. **Основные** процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. Под ред. Дытнерского Ю.И. Химия. –1991. –496 с.
2. **Бухмиров В.В.** Тепломассобмен: учебное пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».–Иваново, 2014. – 360 с. ISBN 978-5-00062-058-8.

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

СОЗДАНИЕ БАЗЫ ЗАДАЧ РАЗДЕЛА «КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН» КУРСА «ТЕПЛОМАССООБМЕН»

Механизм конвективного теплообмена более сложен по сравнению с процессом теплопроводности внутри твердых монокристаллических тел. Определение теплового потока в процессе конвективной теплоотдачи между твердой непроницаемой стенкой и текучей средой основывается на правильном расчёте коэффициента теплоотдачи, который, в свою очередь, находят в соответствии с правилами теории подобия по критериальным уравнениям.

Выбор конкретного критериального уравнения зависит от вида конвективного теплообмена (свободная или вынужденная конвекция), от рассматриваемого объекта, от режима движения теплоносителей.

Целью данной работы является создание базы задач по расчёту конвективного теплообмена в однофазных средах. База задач создаётся для самостоятельной работы студентов, для приобретения умений и навыков в процессе освоения раздела «Конвективный теплообмен», а также для возможного внедрения элементов дистанционного обучения по курсу «Тепломассообмен».

Результатом работы является:

- 1) анализ многочисленных задач расчёта конвективного теплообмена [1–6];
- 2) систематизация заданий по соответствующим темам;
- 3) решение задач;
- 4) оформление примеров решения задач.

Задачи разделены по уровню сложности. Все задачи имеют ответ. Типовые задачи сопровождаются подробным решением.

Библиографический список

1. Шатров М.Г., Иванов И.Е., Пришвин С.А. Сборник задач по теплотехнике. М.: Издательский центр «Академия», 2012. 272 с.
2. Авчухов В.В., Паюсте Б.Я. Задачник по процессам тепломассообмена. М.: Энергоатомиздат, 1986. –144 с.
3. Воскресенский К.Д. Сборник задач по теплопередаче. М.: Государственное энергетическое издательство, 1951. –168 с.
4. Панкратов Г.П. Сборник задач по теплотехнике. М.: Высшая школа, 1995. 238с.
5. Болгарский А.В., Голдобеев В.И., Идиатуллин Н.С., Толкачев Д.Ф. Сборник задач по термодинамике и теплопередаче. М.: Высшая школа, 1972. –304 с.
6. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. М.: Энергия, 1980. 287 с.

М.Е. Попов, студ.; рук. И.М. Чухин, к.т.н., доц. (ИГЭУ г. Иваново)
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПАРИТЕЛЬНОГО
КОНДИЦИОНЕРА

Известный факт снижения температуры воздуха при испарении им воды [1] в процессах сушки положен в основу работы бытовых кондиционеров, появившихся в последнее время. В данном устройстве вентилятор прогоняет поток воздуха через пористый материал, смачиваемый водой.

В данной работе проведен термодинамический анализ возможностей испарительного кондиционера. В качестве примера было выбрано бытовое помещение объемом 50 м^3 с температурой воздуха $30 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажностью 40% . Так же было принято, что увлажнение воздуха на выходе из кондиционера достигает $\varphi_2=90 \%$, а необратимость самого процесса сушки, представлена отношением энтальпии воздуха на выходе из установки к энтальпии воздуха на входе в нее и составляет $H_2/H_1=0,9$.

Расчеты оценки эффективности работы установки проводились пошаговым методом с расходом воздуха через установку на каждом шаге в $\Delta G=10 \text{ кг}$. После каждого шага находились новые параметры воздуха в помещении, и выполнялся расчет следующего шага. Результаты такого расчета представлены в таблице.

Таблица 1 - Результаты расчета эффективности работы установки

G, кг	t ₂ , °C	φ ₂	d ₂ , г/кг с.в.	t, °C	φ, %	d, г/кг с.в.	ΔD, г
10	18	90	12,8	28	48	11,5	20
20	18,1	90	12,5	26,4	53,5	11,7	30
30	18,3	90	12,2	25,1	58,7	11,8	35
40	18,5	90	12,1	23,95	62,7	11,85	38

Индексом 2 в таблице обозначены величины на выходе из установки, а без индекса – величины, характеризующие состояние воздуха в помещении. Величины Gи ΔD, соответствуют количеству воздуха пропущенного через установку и количеству испаренной воды.

Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод, что испарительные установки можно использовать в качестве кондиционеров, т.к. при пропуске 40 кг воздуха в помещении 50 м^3 температура в нем снизится с 40 до 24°C , а относительная влажность увеличится с 40 до 63% , при испарении всего 38 г воды.

Библиографический список

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

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

КАРНО И ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Всем известный цикл Карно [1, 2] далеко не всем дает представление, как много дал Карно для технической термодинамики.

В данной работе приведены основные аспекты технической термодинамики, к которым имеет непосредственное отношение Карно и его вклад в эту науку во времена существования теории «теплорода».

Первое очевидное достижение Карно и его цикла связано со вторым законом термодинамики. Зависимость термического КПД цикла Карно только от температур горячего и холодного источников теплоты позволила анализировать тепловую экономичность современных теплоэнергетических установок (ТЭУ) путем представления их в виде эквивалентных циклов Карно с использованием средне-термодинамических температур процессов подвода и отвода теплоты к их рабочему телу.

Теорема Карно о независимости КПД цикла Карно от свойств рабочего тела позволила Томсону (лорд Кельвин) обосновать абсолютную шкалу температур, что в свою очередь привело к размышлению о достижении абсолютного нуля температуры веществ, а в итоге к третьему началу термодинамики.

Появившаяся функция состояния энтропия так же обязана своим существованием применительно к реальным веществам теореме Карно, т.к. благодаря этой теореме была доказана принадлежность энтропии реальных веществ к параметрам состояния. Значение такого параметра как энтропия в технической термодинамике переоценить весьма сложно, а оценка изменения энтропии системы позволило не только дать количественную оценку второго закона термодинамики, но ввести понятие эксергии (максимально возможной полезной работы) и сформулировать теорему Гюи-Стодолы $\nabla E = T_{oc} \Delta S_c$ о потере эксергии в реальных (необратимых) процессах и циклах.

Обобщенный цикл Карно в свою очередь проложил дорогу целесообразности введения регенерации в современных теплоэнергетических установках.

Подводя итог анализа вклада Карно в такую науку как техническая термодинамика, очевидно, что его заслуга весьма значительна.

Библиографический список

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

*П.А. Минеев, маг.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРИРОДУ МИРА. ТЕОРИЯ А.И. ВЕЙНИКА

Альберт-Виктор Иозефович Вейник ([3 октября 1919, Ташкент](#) – [24 ноября 1996, Минск](#)) — советский теплофизик.

В 1944 г. Альберт Иозефович защитил дипломный проект в МАТИ, в 1947 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1953 г. – докторскую диссертацию.

В 1950 г. А.И. Вейник приступил к разработке своей общей термодинамической теории. Альберт Иозефович Вейник предложил «заменить энтропию термическим зарядом». Первые же его выступления сопровождались большим количеством критики и неприятием его идей со стороны, так называемого, научного сообщества.

Труды А.И. Вейника «Термодинамика», «Похвальное слово энтропии», «Теория движения» и многие другие книги и публикации вызывали в научном сообществе неоднозначную критику. В 1969г. приказом №610 министра образования СССР большинство его книг было изъято из библиотек и уничтожено.

Главной неакадемической работой А.И. Вейника стала монография «Термодинамика реальных процессов» [1], в которой автор изложил своё видение материальной природы мира и доказал, что время и пространство имеют своих носителей – «хронон» и «метриант». В этой книге представлены многочисленные опыты, в которых делается попытка объяснения физического механизма, так называемых аномальных явлений (полтергейст, НЛЮ и др.).

В 1992 году А.И. Вейник переходит от католичества к православию и начинает заниматься исключительно изучением особенностей взаимодействия материального и духовного миров, доказывая главенствующую роль Человека в природе.

Альберт Иозефович считал, что непонимание и неприятие новой революционной теории неизбежны при жизни ее автора, поскольку многие открытия получили своё признание спустя долгие годы после начала их разработки. Интересен тот факт, что в настоящее время никто не доказал ложность теории А.И. Вейника о природе мира.

Библиографический список

1. **Вейник А.И.** Термодинамика реальных процессов. Минск: Наука и техника, 1991. –365 с.

Н.С.Галкина, студ.; рук. В.В.Бухмиров, д.т.н., проф.(ИГЭУ, Иваново)

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА ЛЕОНИДА АЛЕКСАНДРОВИЧА БРОВКИНА

Леонид Александрович Бровкин родился 2 июня 1923 г. в деревне Николо-Гора Пречистенского района Ярославской области в учительской семье. В 1933 г. семья Бровкиных переехала в Иваново, где в 1940 г. Леонид Александрович окончил школу № 35 и поступил в Московский государственный университет, который пришлось оставить в 1941 г. и по направлению военкомат работать грузчиком. В 1943 году он поступил в Московский институт стали и сплавов, который окончил с отличием в 1947 г. После окончания института работал начальником участка литейного цеха машиностроительного завода в г. Муроме. В 1950 г. защитил кандидатскую, а затем в 1970 г. докторскую диссертации в Ученом совете Московского института стали и сплавов. Начиная с 1950 и до самой кончины в 1990 г. научная и педагогическая жизнь Л.А.Бровкина проходила в Ивановском энергетическом институте на кафедре газопечной теплотехники, которой он заведовал начиная с 1968 г.

Научная и педагогическая работа профессора Бровкина Л.А. была целостным единым процессом. Все студенты, аспиранты и преподаватели кафедры выполняли проекты для промышленности страны, воплощали в жизнь идеи и проверяли гипотезы профессора Л.А. Бровкина. Кратко отметим, что Леонид Александрович подготовил 13 кандидатов и одного доктора наук, написал более 350 научных статей, несколько десятков учебных пособий, которые и сейчас востребованы студентами, получил более 20 патентов на изобретения. В 1970 г. он был награжден медалью "За доблестный труд", а в 1976 г. – медалью "За трудовую доблесть".

К научным достижениям профессора Бровкина Л.А. следует отнести новую гипотезу переноса теплоты теплопроводностью с введением безразмерного комплекса, который впоследствии было предложено назвать критерием Бровкина (Br), новую форму записи аналитического решения краевой задачи теории теплопроводности (КЗТТ), оригинальный численно-аналитический метод решения КЗТТ – метод ДУКУ, новый метод расчета конвективного теплообмена в огнетехнических установках, адаптивный инженерный метод расчета степени черноты продуктов сгорания энергетических топлив и ещё ряд оригинальных и востребованных методов расчета теплообмена и эффективных установок теплоэнергетики.

В заключение отметим, что имя профессора Леонида Александровича Бровкина и в настоящее время через 30 лет после его ухода не забыто учеными-теплотехниками России и работает на имидж нашего энергетического университета.

*П.И. Королева, студ.; рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)*

ПОВТОРНОЕ ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЯ СТОЛОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В настоящее время по-прежнему остаётся актуальным проведение энергетического обследования зданий с использованием тепловизионной съёмки, что позволяет быстро и качественно выявить дефекты ограждающих конструкций и эффективность работы отопительных приборов.

На данный момент тепловыделений кухни, расположенной в центре обеденного зала, недостаточно для поддержания нормативных параметров температуры воздуха в столовой в зимнее время [2].

В январе 2019 году была сделана термография столовой тепловизором Testo 882. На основании составленного отчета были предложены рекомендации по уменьшению тепловых потерь через ограждающие конструкции и увеличению температуры внутри помещений столовой [2]. Данные мероприятия были выполнены частично, а именно, была проведена замена деревянных окон на пластиковые стеклопакеты.

Следует отметить, что силами организации, обслуживающей столовую, в течение года были установлены два дополнительных биметаллических радиатора по десять секций и два воздушно-отопительных агрегата VOLCANO VR MINI.

Повторное инструментальное обследование столовой было проведено 21 января 2020 года. Внутри здания столовой средняя температура составляла +19 °С, что соответствует СанПиН [1]. Анализ термограмм выявил, что потери через оконные проёмы значительно снизились. Для завершения работ по уменьшению теплопотерь столовой предлагаем провести следующие мероприятия:

- 1) установить теплоотражающие экраны за отопительными приборами;
- 2) восстановить нарушенное остекление;
- 3) заменить железную дверь со стороны улицы (или сделать тамбур);
- 4) провести промывку или замену чугунных радиаторов.

Библиографический список

1. СанПиН. 2.3.6.1079-01. Санитарно-эпидемиологические требования ... – Введ. 2008-11-01.-М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – П2.
2. Тепловизионная диагностика здания столовой промышленного предприятия /А.В.Созинов, К.С. Прохоров, Т.Е. Созинова // Материалы международной НТК «Состояния и перспективы развития электротехнологии» (XIX Бенардосовские чтения). – Иваново: ФГБОУВО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2017. Т. 2. – С. 285-288.

*Д.А. Кругликов, асп., Афонина Г.Н., асп.;
рук-ли И.А. Султангузин, д.т.н., проф., В.С. Глазов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»), В. Шютц, д.т.н., проф. (БТУ, Котбус)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ПОТОЛОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Системы инфракрасного отопления и охлаждения - наиболее оптимальные системы для жилых домов и общественных зданий, построенных по технологии пассивного домостроения. Источником теплообеспечения и охлаждения этих зданий является тепловой насос.

Для оценки эффективности охлаждающих панелей необходимо исследовать взаимодействие тепловых потоков за счет излучения и конвекции между панелью и частями тела человека. Экспериментальные исследования эффективности систем потолочного охлаждения выполнялись в г. Котбус (Германия) в Бранденбургском техническом университете, а также в индивидуальном жилом доме, построенном в Московской области.

Измерялась температура воздуха под панелью (лучисто-конвективная и чисто конвективная), скорость воздуха, относительная влажность на разной высоте от панели (рис. 1). Измерения производились для разных начальных условий (при различных температурах панели и внутреннего воздуха).

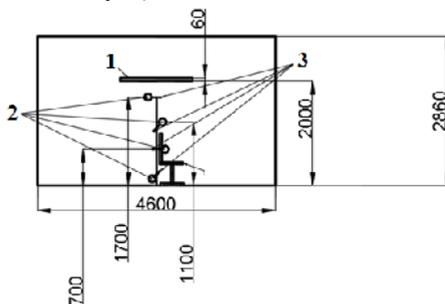


Рисунок 1 – Контрольные точки для измерения температур:

- 1 – охлаждающая панель; 2 – точки измерения лучисто-конвективной температуры;
- 3 – точки измерения конвективной температуры

Были рассчитаны угловые коэффициенты излучения от головы к панели, от панели к голове, от головы к потолку. Они позволили разделить лучистые и конвективные тепловые потоки, тем самым узнать общий тепловой поток, воспринимаемый головой человека.

Установлено, что с увеличением расстояния от головы человека до охлаждающей панели результирующий поток излучения уменьшается, а тепловой поток от конвекции увеличивается.

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМФОРТНОГО МИКРОКЛИМАТА ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Задача сокращения потребления топливно-энергетических ресурсов решается, в том числе, и уменьшением энергопотребления в зданиях для долговременного пребывания человека путем внедрения энергосберегающих мероприятий. Однако при этом не должно быть нарушения комфортности внутренней среды в помещении.

В работе рассматривается применение нового метода оценки эффективности энергосберегающих мероприятий. Метод направлен на решение задачи создания комфортного микроклимата при внедрении проектов энергосбережения и учитывает климатические характеристики объекта путем анализа нового критерия – уровня комфортности микроклимата, технические и экономические показатели мероприятия. Данный метод оценки эффективности энергосбережения в зданиях подробно описан в работах [1, 2].

В рамках научного исследования выполнена оценка эффективности типовых энергосберегающих мероприятий для непромышленных зданий: наложение тепловой изоляции на поверхность ограждающих конструкций, замена оконных блоков на энергоэффективные и установка терморегуляторов на радиаторы отопления. Для каждого проекта рассчитан уровень комфортности микроклимата до и после реализации энергосберегающего мероприятия, определена экономия энергоресурсов в натуральном и денежном выражении, дана оценка показателей экономической эффективности энергосберегающих мероприятий, выполнен анализ целесообразности их внедрения с точки зрения создания комфортной для человека внутренней среды.

В заключение сделан вывод о необходимости комплексного подхода к решению проблемы энергосбережения в непромышленных зданиях с учетом обеспечения требуемого уровня комфортности микроклимата.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Пророкова М.В. Оценка микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий // Вестник ИГЭУ. 2015. № 4. С. 5-10.
2. Бухмиров В.В., Пророкова М.В. Оценка эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий // Материалы МНТК XIX Бенардосовские чтения. 2017. Т.2. С.237 – 240.

С.И. Гуминская, студ.; рук. Д.В. Ракутина, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЯ

Расход тепловой энергии на отопление зависит от термического сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций здания. При этом температура внутренней поверхности ограждения должна быть выше температуры точки росы, чтобы предотвратить образование конденсата.

Цель данной работы – определение фактического термического сопротивления наружных ограждений здания и сравнение его с нормативными значениями.

В качестве объекта исследования выбрано дошкольное образовательное учреждение, расположенное в городе Иваново. На данном объекте было выполнено измерение температуры и относительной влажности воздуха внутри помещения, а также температуры внутренней поверхности наружных стен [1]. По результатам проведенных измерений найдено значение термического сопротивления теплопередачи через наружные стены здания. Результаты расчета представлены на рис. 1.

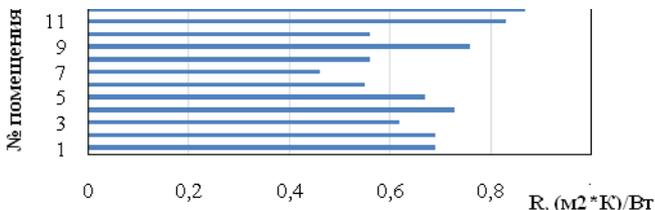


Рисунок 1 - Термическое сопротивление теплопередачи (R) наружных стен здания

Среднее значение термического сопротивления теплопередачи наружных стен дошкольного учреждения составляет $0,66 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$, при этом согласно СП 50.13330.2012 нормативное значение сопротивления теплопередачи $3,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$. Таким образом, термическое сопротивление в 5 раз ниже нормы, что приводит к избыточным тепловым потерям через наружные ограждения здания.

Библиографический список

1. **Инструментальное** исследование микроклимата в дошкольном образовательном учреждении / С.А. Воронин, Д.А. Малофеев, Д.В. Ракутина // Теплоэнергетика. "Энергия-2019". Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 3-5 апреля 2019 г., г. Иваново: материалы конференции.— Иваново: УИУНЛ ИГЭУ.— 2019.— Т.1. – С.59.

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

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПРОЦЕССОВ ИДЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

В теплотехнических установках в качестве рабочего тела используют различные газы свойства которых достаточно точно описываются с помощью модели идеального газа. Эта модель широко применяется для решения различных задач термодинамики.

В данной работе разработана компьютерная программа позволяющая рассчитывать термодинамические характеристики и процессы идеального газа. Программа создана на языке программирования C# и имеет простой, удобный интерфейс (рис. 1).

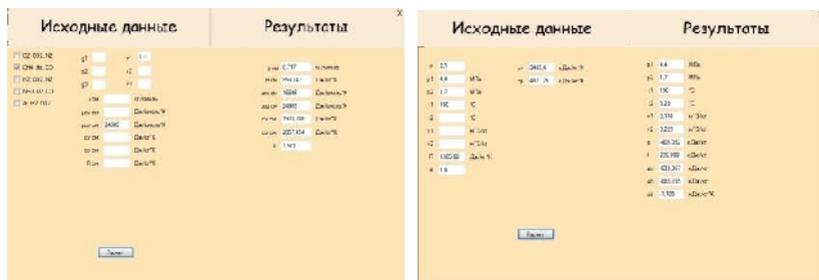


Рисунок 1 - Экранная форма программы для расчета термодинамических характеристик идеального газа

Вычислительная программа состоит из трех модулей:

- 1) определение основных характеристик смеси идеальных газов;
- 2) расчет политропного процесса для смеси идеальных газов;
- 3) расчет адиабатного процесса для идеального воздуха при постоянных значениях изобарной и изохорной теплоемкостей, а также с учетом зависимости этих величин от температуры.

В программе использованы общепринятые формулы и закономерности, используемые для расчета характеристик идеального газа. Реализовано несколько алгоритмов, которые в зависимости от введенных данных позволяют найти требуемые величины. Набор исходных данных можно изменять в зависимости от задания на расчет. Разработанная программа может быть использована преподавателями при составлении заданий для расчетно-графической работы по курсу «Техническая термодинамика, часть 1», а также для проверки выполненных студентами контрольных работ.

А.Д. Абрамов, студ., М.С. Винокуров, студ.;
рук. М.В. Родионова, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ТЕЛ КЛАССИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Расчет температурных полей элементов конструкции теплотехнического оборудования является важным этапом проектирования. В настоящее время для решения краевой задачи теории теплопроводности используют аналитические, численные и численно-аналитические методы. Особенностью аналитических методов является получение точного решения при заданных линейных условиях однозначности.

В работе рассматривается линейная задача расчета температурных полей тел классической формы (бесконечной пластины, бесконечного цилиндра, шара). Общий вид точного решения дифференциального уравнения теплопроводности для граничных условий I, II и III рода приведен в [1, 2]. Повышение точности и скорости расчета достигнуто

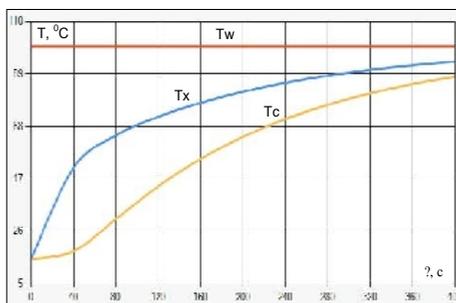


Рисунок 1 – Температурное поле бесконечной пластины при граничных условиях I рода

путем реализации алгоритма решения задачи в виде компьютерной программы в приложении WindowsForm C#. На рис. 1 приведено температурное поле бесконечной пластины нагреваемой при граничных условиях I рода. Адекватность решения проверена путем сравнения результатов с решением задачи численным методом (методом сеток).

Разработанный инструмент расчета температурных полей тел классической формы был использован для формирования базы заданий для самостоятельной работы студентов, изучающих раздел «Нестационарная теплопроводность» курса «Тепломассообмен».

Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Солнышкова Ю.С. Нестационарная теплопроводность. Справочные материалы для решения задач. Иваново: ИГЭУ, 2013. –34 с.
2. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / под ред. М. Абрамовица, М. Стиган. М.: Наука, 1979. –832 с.

*Т.С. Петрова, студ. (КГЭУ, г. Казань),
А.Я. Биряльцев, маг. (НХТИ, г. Нижнекамск);
рук. И.Н. Мадышев, к.т.н. (КНИТУ, г. Казань)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СТРУЙНО- БАРБОТАЖНОГО КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА

Одной из ключевых задач для большинства тепловых станций является увеличение массообменной эффективности деаэраторов, использующих струйно-барботажное взаимодействие парового и жидкостного потоков. Основными недостатками существующих конструкций струйно-барботажных контактных устройств являются относительно большие габариты и металлоемкость, вследствие нескольких отсеков, предназначенных отдельно для барботажного или струйного взаимодействия. Поэтому усовершенствование данных видов аппаратов является актуальной задачей [1].

Авторами данной работы была разработана конструкция струйно-барботажного контактного устройства, включающая цилиндрический барабан, внешние и внутренние лопатки. Следует отметить, что в данных типах аппаратов значительное место отводится гидродинамической структуре взаимодействия фаз, существенным образом, влияющая на интенсивность и эффективность массообменных процессов. Поэтому были проведены экспериментальные исследования гидродинамики струйно-барботажного контактного устройства. Экспериментальные исследования проводились на системе воздух-вода при температуре 20 °С[2].

В работе рассмотрены внешние и внутренние лопатки с треугольными прорезями на их конце и без прорезей. В ходе исследований установлено, что изготовление лопаток с треугольными прорезями позволяют повысить эффективность и интенсивность массообменных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-417.2019.8.

Библиографический список

1. Зицуров В.Э., Дмитриев А.В., Хафизова А.И., Гайнатуллин Р.Р., Латыпов Д.Н. Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 57-62.
2. Дмитриев А.В., Мадышев И.Н., Дмитриева О.С. Гидродинамика в струйно-барботажном контактном устройстве // Энергобезопасность и энергосбережение. 2018. № 3. С. 12-15.

*П.А. Торопов, студ.; рук. О.И. Горинов, доц., к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА УДЕЛЬНУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ

Безвредная переработка твердых органических отходов технологией, включающей процессы пиролиза и газификации, является перспективной, поскольку она является не только энергоэффективной, но и производит новые продукты: энергетическое газообразное топливо и золу[1]. Технология термопереработки, основанная на процессах пиролиза и газификации, обладает гибкостью благодаря чему она способна перерабатывать твердые отходы различного вида и состава. Основным звеном в технологии термической переработки твердых органических отходов является теплотехнологическая установка – термический реактор. Проектируемый термореактор для переработки твердых органических отходов должен отвечать современным требованиям науки и техники в области теории тепломассообмена, гидродинамики и технической эстетики. Однако в настоящее время в информационных источниках нет в достаточной мере теоретических и экспериментальных исследований для их расчётов и проектирования. В связи с этим актуальными являются исследования направленные на установления влияния режимных параметров на скорость термических процессов и производительность термореакторов. Большое влияние на производительность термических реакторов оказывает величина температуры излучающей поверхности, влажность и разность температур между излучателем и поверхностью слоя. Авторами произведены исследования этих зависимостей и разработаны рекомендации по проектированию термических реакторов для переработки органических отходов.

Библиографический список

1. Доклад руководителя Роспотребнадзора В.В. Кириллова «О региональных аспектах обращения с отходами потребления в РФ» официальный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа:<http://www.solidwaste.ru/docs/view/761.html>

*У.Д. Корнеева, О.О. Неплюева, студ.; рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЯМОТОЧНОЙ И ПРОТИВОТОЧНОЙ СХЕМ ДВИЖЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Определение эффективности рекуперативного теплообменного аппарата является необходимым элементом процесса проектирования. Это помогает определить оптимальные параметры, при которых эффективность теплообменного аппарата будет наибольшей при заданных конструктивных размерах.

Алгоритм расчёта эффективности прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей был автоматизирован в среде Microsoft Office Excel. Разработанная авторская программа позволяет при известных расходах теплоносителей и геометрических размерах теплообменного аппарата провести тепловой поверочный расчёт таких теплообменных аппаратов, как кожухотрубный, пластинчатый и типа «труба в трубе».

В вычислительной программе заложены справочные таблицы теплофизических свойств различных теплоносителей и предусмотрена возможность автоматического интерполирования.

Для расчёта конечных значений температуры теплоносителей были построены графики зависимости эффективности рекуперативного теплообменного аппарата от отношения водяных эквивалентов и безразмерного коэффициента теплопередачи [1,2].

Разработанный программный продукт позволяет существенно уменьшить затраты на выполнение теплового поверочного расчёта рекуператора.

Завершающим этапом работы является автоматическое построение графика оценки эффективности прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей.

Библиографический список

1. **Михеев, М.А.** Основы теплопередачи. Изд. 2-е / М.А. Михеев, И.М. Михеева / М.: Энергия. 1977. –344 с.
2. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: Учеб. пособие / В.В. Бухмиров // ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. –360 с.

СЕКЦИЯ 5

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

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

Секретарь –
старший преподаватель **Смирнов Н.Н.**

Т.Ю. Андреева, студ.; рук. С.В. Гужов, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ОТСКОКА» В МНОГОКВАРТИРНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ

В данной работе выполнено обоснование необходимости внедрения энергосберегающих мероприятий в многоквартирном жилом доме.

Для получения тепловых нагрузок выполнен расчет энергетического баланса многоквартирного жилого дома. Исходными данными для расчетов являются отчет по теплоснабжению жилого дома с 2014 по 2017 год, общие сведения об объекте и климатологическая характеристика местоположения жилого дома.

Произведено теоретическое обоснование эффекта «отскока» при реализации энергосберегающих мероприятий в МКД в соответствии с [1] и проведен анализ данных теплоснабжения за несколько лет. Среднее теплоснабжение в первом году составило 14,77 Гкал, после внедрения ИТП – 2,37 Гкал и в последующий год – 9,68 Гкал.

Эффект «отскока» составил 83,97%. Причинами данного эффекта могли послужить: неполадка в системе датчиков, сбившаяся настройка микроконтроллера, увеличение отложения в трубах системы отопления, намеренное увеличение расхода.

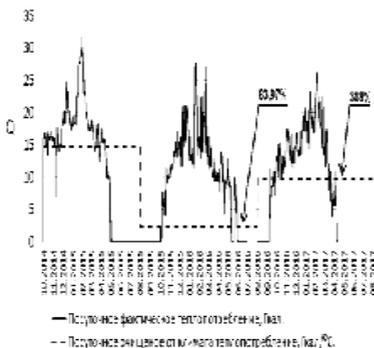


Рисунок 1 - Эффект «отскока» при реализации энергосберегающих мероприятий.

Библиографический список

1. Могиленко А. В. Эффект «отскока» (reboundeffect) как ухудшение результата энергосберегающих мероприятий по сравнению с ожидаемым. Энергобезопасность и энергосбережение. 2016. № 5.

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

ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕПЛООБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ МЕТОДОМ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Авторами проводились исследования на моделях поверхности теплообменного оборудования – стальных пластинах (400x160x2 мм) с разной толщиной отложений (0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 мм), с целью контроля толщины отложений на поверхностях теплообмена методом свободных колебаний, который основан на анализе параметров затухания [1]. Диапазон частот спектров дефектных и доброкачественных зон изделий лежит в пределах 0,5-20 кГц.

Для определения динамики изменения спектров использовалась ранговая сумма Уилкоксона [2]. Результаты изменения статистики для спектров сканирования сигналов чистой пластины и пластин с осадком приведены на рис. 1. За эталонный спектр принимался первый спектр из каждой серии сканирования.

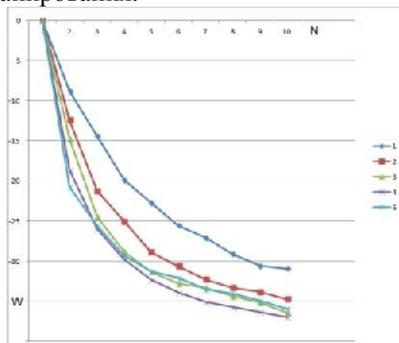


Рисунок 1 - Изменение статистики Уилкоксона, где 1 - чистая пластина, 2 – осадок в 1.0 мм, 3 – осадок в 1.5 мм, 4 – осадок в 2.0 мм, 5 – осадок в 2.5 мм

Проведенные исследования показали возможность использования метода свободных колебаний для обнаружения и оценки толщины отложений на теплообменных поверхностях.

Библиографический список

1. Control of the condition of heat exchange surfaces by free vibration method. Izmaylova E.V., Politova T.O, Garnyshova E.V., Garifullin M.Sh. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.2019.
2. Wilcoxon F. Individual Comparisons by Ranking Methods. // Biometrics Bulletin 1. 1945. P. 80–83.

Д.Р. Голубовская, студ.; рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В УСТАНОВКЕ ЛОНС- ДЕГИДРИРОВАНИЯ

Научный и технологический прогресс в обращении с водородом в химически связанной форме в качестве жидкого органического водородного (LIQUIDORGANICHYDROGENCARRIER(ЛОНС)) носителя позволяет сделать предположение, что будущая водородная экономика может работать без обработки больших объемов элементарного водорода. Системы ЛОНС состоят из обедненных водородом и богатых водородом пар органических соединений, которые накапливают водород при повторных циклах каталитического гидрирования и дегидрирования. В отличие от хранения водорода путем гидрирования газов, таких как CO_2 или N_2 , выделение водорода из систем ЛОНС позволяет получить чистый водород после конденсации высококипящих соединений–носителей.

На базе университета Фридриха-Александра (г. Эрланген-Нюрнберг, Германия), на кафедре LTT (Lehrstuhl für Technische Thermodynamik) была разработана установка по ЛОНС-дегидрированию, состоящая из 4 основных блоков: блок подачи топлива, блок подачи ЛОНС, система горелка + реактор, блок рециркуляции и хранения ЛОНС и водорода. На данный момент проводятся испытания данной установки путем подбора оптимальных режимных параметров процесса, путем изменения расхода загружаемого ЛОНС, изменения мощности установки, а также введением катализаторов. На рисунке 1 представлена схема процесса хранения водорода с использованием системы ЛОНС [1].

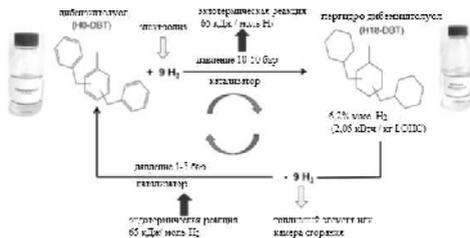


Рисунок 1 - Схема процесса хранения водорода с использованием системы ЛОНС

Библиографический список

1. Patrick Preuster, Christian Papp, and Peter Wasserscheid. Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs): Toward a Hydrogen-free Hydrogen Economy. Erlangen, Germany. 2016

*В.А. Екимова, студ.; рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД (ОСВ)

Осадки городских сточных вод (ОСВ) имеют большие объёмы, очень высокую влажность (до 98%) и содержат вредные органические вещества, способные быстро разлагаться и гнить. Исследование ОСВ необходимо для организации процесса ликвидации с минимальным ущербом окружающей среде и с минимальными затратами дополнительного топлива.

Первоначально, в электрической печи «NaberthermHT 04/17» с использованием газоанализатора «MRUVARIOPlus» нами были выполнены экспериментальные газоаналитические исследования четырех влажных образцов ОСВ Москвы и Московской области. В таблице 1 представлены максимальные результаты измерений концентрации СО в дымовых газах, образованных при сжигании ОСВ.

Второй этап экспериментов проводился в низкотемпературной печи Snol 58/350 для аналитического исследования сушки четырех образцов ОСВ. Результаты изменения массы представлены в таблице 1.

На третьем этапе были выполнены экспериментальные исследования по определению теплоты сгорания четырех сухих образцов ОСВ в калориметре модели IKA C2000 basicVersion. В таблице 1 представлены полученные результаты.

Таблица 1 -Экспериментальные данные образцовОСВ

Изменяемая величина	Зеленоградская станция аэрации	Люберецкие очистные сооружения	Очистные сооружения Южное Бутово	Курьяновские очистные сооружения
Температура, °С	Максимальная концентрация СО в дымовых газах, %			
370	0,2520	0,2300	0,0328	0,0545
400	0,2070	0,3790	0,1128	0,1295
500	0,0720	0,0940	0,2270	0,0920
Время, мин	Данные изменения массы ОСВ, г			
0	13,433	13,023	19,429	11,472
270	12,571	1,053	1,860	1,442
Экспериментальные данные теплоты сгорания образцов ОСВ, МДж/кг				
	-	16,086	17,918	13,177

*А.А. Ерунов, студ.; рук-ли И.М. Бернадинер, к.т.н., доц.;
П.В. Хорева, асс. (НИУ «МЭИ»)»*

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ПЕСТИЦИДОВ

Пестициды – собирательное название веществ химического или биологического происхождения, которые используют для борьбы с вредителями, сорняками, возбудителями болезней растений и животных, а также применяемых для регуляции роста и развития растений, и т.д. Сегодня в российский Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, внесено порядка 650 видов химических средств защиты растений и свыше 1100 агрохимикатов. Это наибольшее количество пестицидов, разрешенных к использованию в России за последнее десятилетие [1].

Нами намечены направления и показана актуальность ликвидации накопленных пестицидов в РФ, рассмотрены классификация пестицидов, их влияние на организм человека и окружающую среду. Исследованы основные способы обезвреживания пестицидов, а именно химическое обезвреживание, биологическое разложение, контейнерный метод и термическая инактивация. После тщательного изучения, было принято решение выбрать высокотемпературное обезвреживание дохимикатов во вращающейся барабанной печи.

Разработана технологическая схема высокотемпературного обезвреживания пестицидов. В качестве отходов были выбраны ДДТ, пентахлорнитрабензол, цирам и бутиловый эфир общей массой 16905,4 т. Агрегатная нагрузка установки: 0,194 кг_{отх}/с. Нами был определен процентный состав отходов, выполнен расчет горения отходов и природного газа, составлен тепловой баланс реактора при различных температурах воздуха. Выполнен тепловой расчет камеры дожигания и скруббера. Создание высокотемпературной установки для обезвреживания пришедших в негодность пестицидов позволит решить важные экологические проблемы (загрязнение окружающей среды, почвы, грунтовых вод и невозможность их использования), а также поможет предотвратить появление и развитие хронических и приобретенных заболеваний населения.

Библиографический список

1. **Ерунов А.А., Хорева П.В.** Актуальность ликвидации накопленных пестицидов в РФ // Радиозлектроника, Электротехника и Энергетика: Двадцать пятая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (14–15 марта 2019 г, Москва): Тез. докл. С.609.

*В.Э. Зинуров, асп.; Р.Р. Мубаракишина, И.Ф. Исхаков, студ.;
рук. О.С. Попкова, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)*

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СРОКА СЛУЖБЫ ГАЗООЧИСТНЫХ АППАРАТОВ

Увеличение эксплуатационного срока службы газоочистных аппаратов и повышение их эффективности очистки газов от твердых мелкодисперсных частиц является актуальной проблемой и представляет большой интерес.

Для решения поставленной задачи было разработано устройство (рис. 1), которое предлагается устанавливать после аппаратов грубой очистки (циклонов, жалюзийных аппаратов и др.), практически неспособных очищать газовые потоки от мелкодисперсных частиц размером менее 10 мкм [1].

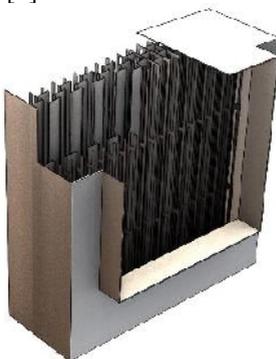


Рисунок 1 – Трехмерная модель устройства (вид в разрезе)

В работе исследовалось влияние различных форм сепарационных элементов (двухавровые, П-образные и дугообразные) на эффективность предлагаемого устройства. При исследовании изменялись такие величины, как скорость газового потока, расстояние между рядами элементов и количество рядов.

Результаты численного моделирования показали, что наиболее эффективной формой сепарационных элементов являются двухавровые, эффективность которых в среднем на 12 % больше, чем при использовании П-образной и дугообразной формы.

Библиографический список

1. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Нгуен Ву Л. Улавливание мелкодисперсных твердых частиц из газовых потоков в прямоугольных сепараторах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 3 (134). С. 138-144.

*Т.С. Зуева, асп.; Л. Вайсс, асп.; рук. А.Б. Гаряев, д.т.н., проф.
(НИУ МЭИ, г. Москва; ФАУ г. Эрланген)*

ТЕНЕВЫЕ МЕТОДЫ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАНИИ РАСПРОСНЕНИЯ СТРУЙ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В СНОСЯЩЕМ ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

Актуальность исследования распространения струй жидких углеводородов в сносящем воздушном потоке обусловлена необходимостью снижения вредных выбросов автотранспорта. Впрыск топлива происходит практически мгновенно – его продолжительность исчисляется мил-

лисекундами. При этом скорость впрыска достигает 250 м/с для бензиновых струй. Эти факты значительно усложняют процесс визуализации струйных течений и поднимают вопрос выбора оптимальных методов их исследования.

Исследование распространения струй этанола в сносящем потоке воздуха с помощью двух теневых методов – прямого теневого метода и теневого метода с ножом Фуко [1] проводилось на кафедре технической термодинамики университета Фридриха-Александра в городе Эрланген, Германия. На рисунке 1 представлены фотографии двух струй, впрыскиваемых при одинаковых условиях: давление впрыска 170 бар, скорость сносящего потока 15 м/с, температура этанола 25 °С, время съёмки 0,7 мс от начала впрыска. По результатам экспериментов удалось определить с помощью прямого теневого метода область жидкой части струи (пунктирная линия на рис.1), а с помощью теневого метода с ножом Фуко – область паровой части (сплошная линия на рис. 1). Границы «пар-жидкость» определялись по числу пикселей на снимках струи в среде Matlab.

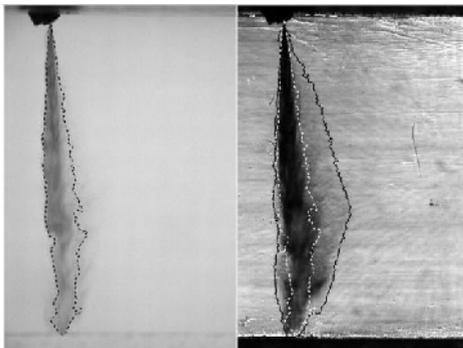


Рисунок 2 - Фотографии струи этанола, выполненные прямым тeneвым методом – слева; и тeneвым методом с ножом Фуко – справа.

Библиографический список

1. Васильев Л.А. Теневые методы. М.: Наука, 1968. 400 с.

*Д.А. Кругликов, асп.; рук. И.А. Султангузин, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

СОВРЕМЕННЫЙ КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ, СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДОМОВ НА ОСНОВЕ BIM-, BEM- И CFD- ТЕХНОЛОГИЙ

Комплексное проектирование подразумевает использование BIM, BEM и CFD технологий, которые позволяют построить и эксплуатировать здания, не только отвечающие требованиям энергосбережения, но и приближенные к стандартам пассивных домов. В работе рассмотрен комплексный подход к проектированию на конкретном жилом доме, построенном в Московской области с использованием данных технологий. Информационная модель (BIM) была создана в ArchiCAD и включает как архитектуру, так и все инженерные системы с сетями (рис.1). На ее основе была создана энергетическая модель (BEM) в Eco Designer STAR, TRNSYS и MagiCAD. CFD-моделирование теплового состояния гостиной-кухни выполнено в ANSYS Fluent. Экспорт в CFD-пакет выполнен через SketchUp.



Рисунок 1-Информационная модель (подвальное помещение с инж. оборудованием)

Информационное моделирование позволило исключить коллизии инженерных систем. Энергетическое моделирование - рассчитать тепловую нагрузку на систему отопления и подобрать инженерное оборудование. Удельная нагрузка на систему отопления (без учета приточно-вытяжной вентиляции) составила $30 \text{ кВтч}/(\text{м}^2\text{год})$. Применение CFD-технологий для моделирования теплового состояния помещений позволило определить распределение температур в доме при использовании системы теплых полов и сравнить данный дом с «классическим» домом.

*К.С. Кузборская, маг.; рук. Ю.Н. Звонарева, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ZULU THERMO» ПРИ РАСЧЕТЕ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Информационно-графическая система «Zulu Thermo» предназначена для расчетов и моделирования теплогидравлических режимов работы тепловых сетей. Расчетный комплекс «Zulu Thermo» дает возможность моделировать режимы работы тепловой сети и анализировать аварийные ситуации, а также давать оценку эффективности мероприятий по модернизации и перспективному развитию систем централизованного теплоснабжения [1].

Программа предусматривает тепловой и гидравлический расчет с присоединением к сети индивидуальных (ИТП) и центральных тепловых пунктов (ЦТП). Возможна разработка электронной модели системы теплоснабжения совместно с геоинформационной системой и гидравлический расчет сети с использованием обобщенных потребителей.

Целью использования «Zulu Thermo» является оценка эффективности поэтапного внедрения автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов (АИТП) на систему теплоснабжения.

Использование данного программного комплекса позволит смоделировать и рассчитать систему теплоснабжения жилого квартала с внедрением АИТП, оценить влияние поэтапного внедрения у абонентов АИТП на гидравлическую устойчивость системы теплоснабжения в различных режимах и выявить процент потребителей, оснащенных АИТП в системе центрального теплоснабжения, приводящий к повышению эффективности работы системы [2].

Библиографический список

- 1. Звонарева Ю.Н.** Оценка экономического эффекта для потребителей при установке автоматизированных узлов учета и регулирования тепловой энергии / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков, С.А. Назарычев // Инженерный вестник Дона. - 2015. - №4.
- 2. Звонарева Ю.Н.** Работа системы теплоснабжения при поэтапном внедрении автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов / Ю.Н. Звонарева, Ю.В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. Издательство: КГЭУ (г. Казань). - 2017. - №1-2. - С. 31-40.

Н.С. Кузьменко, Д.Е. Мусафиров, А.С. Сухушин, Н.А. Зиза;
рук. В.В. Кан, асп. (ТПУ, г. Томск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВЯЗАННОЙ ВЛАЖНОСТИ ПРИ ГРАНУЛИРОВАНИИ УГОЛЬНОЙ СМЕСИ

При добыче угля образуется большое количество угольной мелочи (крошки), которая чаще всего не используется и является отходом, нуждающимся в утилизации. Распространенным вариантом переработки угольной мелочи является изготовление пеллет (гранулирование). Одним из важных критериев производства пеллет является их прочность, которую можно повысить путем добавления органической биомассы в качестве связующего. При этом наиболее рациональным вариантом является использование биомассы, представляющей собой побочные продукты мукомольного производства (например, пшеничные отруби).

Важно определить необходимое количество воды при гранулировании биомассы для ресурсоэффективности изготовления пеллет. Для этого проведен ряд экспериментов по прессованию смеси угля и отрубей (при различных их соотношениях) с изменением начальной влажности смеси (рис. 1).

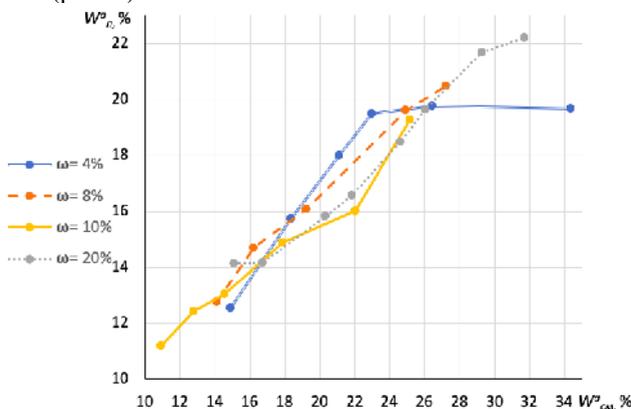


Рисунок 1 - Зависимость остаточной влажности пеллет от начальной влажности смеси
Из рис. 1 видно, что при увеличении влажности смеси свыше 18% остаточное количество воды в пеллете не превышает 18-22%. Видимо, это является «связанной» влагой пеллет [1].

Библиографический список

1. Булышко М.Г., Петровский Е.Е. Технология торфобрикетного производства. – М.: Недра, 1968. – 312 с.

*Д.А. Макуева, студ.; рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЯ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛООБМЕННОМ АППАРАТЕ

Теплоноситель представляет собой вещество, которое служит для переноса тепла в теплообменном оборудовании. Одним из распространенных и доступных вариантов является вода. Несмотря на все необходимые для теплоносителя свойства, вода имеет высокую температуру кристаллизации. Именно поэтому вместо воды следует использовать альтернативные варианты теплоносителей.

Пропиленгликоль - двухатомный спирт, который при обычных условиях представляет собой бесцветную вязкую гигроскопичную жидкость [1]. Теплоноситель на основе пропиленгликоля обладает рядом преимуществ: хорошие теплофизические свойства (температура кипения – +187 °С , кристаллизации – -60 °С); меньшая плотность (1,0363 г/см³); токсикологическая безопасность. Пропиленгликоль не способен вызывать коррозию (совмещается со всеми конструкционными материалами систем), способствует удалению с внутренних поверхностей теплообменного оборудования отложений, а также обладает «смазывающим эффектом», благодаря вязкости, снижающим гидродинамическое сопротивление [2].

Пропиленгликоль целесообразно использовать в системах отопления зданий с непостоянным пребыванием, так как низкая температура замерзания предотвращает сбой в системе отопления в случае несанкционированного отключения.

Использование пропиленгликоля в качестве теплоносителя позволяет продлить срок службы систем теплоснабжения, при соблюдении всех технических характеристик антифриза.

Библиографический список

- 1. Пропиленгликоль для отопления /** – Текст: электронный // Интернет-портал. – URL: <https://abuildic.ru/propilenglikol-dlja-otoplenija.html> (дата обращения: 17.01.20)
- 2. Сравнение теплоносителей:** вода, пропиленгликоль и этиленгликоль / – Текст: электронный // Портал теплообменного оборудования: Интернет-портал. – URL: <http://www.teploobmenka.ru/oborud/art-compare/> (дата обращения: 25.01.20)

*А.А. Михин, соиск.; рук. В.В. Сергеев, д.т.н., проф.
(СПбПУ, г. Санкт-Петербург)*

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА УСТАНОВКИ КОНДЕНСАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Конденсационные котлы работают с высокой эффективностью даже в условиях частичной нагрузки, когда температура обратной сетевой воды от оборудования для обогрева помещения низкая. Для конденсационных котлов коэффициент использования топлив может достигать теоретического значения более 110% при отнесении на рабочую низшую теплоту сгорания топлива [1, 2].

Авторами рассмотрен случай с открытой системой теплоснабжения города, где величина подпитки тепловой сети существенна. Как показывают проведенные расчеты доля энергетического эффекта от использования нагрузки горячего водоснабжения (ГВС) в данной схеме составляет в зависимости от нагрузки котла от 50 до 60% от общего технически достигаемого результата, что является существенным фактором при принятии решения о внедрении данной технологии. Данная схема позволяет осуществлять регулировку распределения теплоносителя между элементами схемы, определять загрузку каждого элемента, находить граничные значения, проводить конструктивную и режимную оптимизацию.

Согласно проведенному расчету для котла ПТВМ-100 видно, что в максимальном режиме эффект от охлаждения дымовых газов соизмерим с эффектом от конденсации. На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы: за счет повышения температуры воздуха на горение снижаются потери с уходящими газами, повышается КПД котла; подогрев обратной воды перед котлом снижает нагрузку на котел и снижается расход топлива; наибольший эффект имеется при конденсации водяных паров в уходящих газах.

Библиографический список

- 1. Doherty, P.S.; Srivastava, N.; Riffat, S.B.; Tucker, R.** Flue gas sorption heat recovery – experimental test and modelling results. Journal of the Energy Institute. 2006, 79, 2-11.
- 2. М. Kovacevic, M. Lambic, L Radovanovic, J. Pekez, D. Ilic, N. Nolic, I. Kucora,** Increasing the Efficiency by Retrofitting Gas Boilers into a Condensing Heat Exchanger, Energy Sources Part B-Economics Planning and Policy 12 5 (2017) 470-479.

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

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЁРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ С ПРОИЗВОДСТВОМ RDF – REFUSEDERIVEDFUEL

В докладе всемирного банка говорится, что к 2025 году объем отходов будет увеличиваться на 2.2 миллиарда тонн [1] во всем мире. Согласно исследованиям Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), увеличение национального дохода на 1% увеличивает количество муниципальных отходов на 0,69% [2]. Один из решения для утилизации отходов и альтернативного источника топлива является продукт термической обработки ТКО - Refuse-Derived Fuel (RDF). Целью настоящего исследования является указать на технологические процессы и решения для получения RDF из ТКО, а также исследование состава твёрдых коммунальных отходов, пригодных для производства RDF. Это исследование дает оценки, основанные на составе ТКО после сортировки во Вьетнаме для производства RDF. При этом, для производства RDF не используются металлы, камни, стекло и хлорсодержащие материалы.

Таблица 1 - Элементарные состава ТКО Вьетнама для производства RDF

<i>Элементы</i>	C	H	O	N	S	A	W
<i>Состава %</i>	44.3	5.7	22.3	0.7	0.2	10.9	15.1

Основные технологические этапы для производства RDF: подготовка отходов; отделение органоминеральной сырьевой фракции; производство твердого топлива (RDF). RDF является прекрасным дополнением или полным заменителем традиционных видов топлива в цементном производстве, при производстве тепла и электроэнергии. RDF будет источником топлива для замены традиционных видов топлива (уголь, нефть) в будущем, в то же время обеспечить экономическую эффективность и защиту окружающей среды.

Библиографический список

1. **World Energy Outlook**. International Energy Agency. 2017.
2. **Municipal Solid Waste** as a Valuable Renewable Energy Resource: A Worldwide Opportunity of Energy Recovery by Using Waste-To-Energy Technologies, 2017

*В.М. Савчин, студ.; рук. И.М. Бернадинер, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ПЕРЕРАБОТКА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОД ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

Использование радиоактивных изотопов и ядерных излучений увеличивается с каждым годом, что сопровождается и ростом количества экологически опасных радиоактивных отходов (РАО). Эти отходы в свою очередь вызывают серьезное беспокойство населения и государственных органов в связи с потенциальной радиационной опасностью хранилищ и могильников РАО для человека и окружающей среды. В 2006 году Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) заявило, что плазменная технология переработки отходов имеет возможность переработки всех основных видов РАО низкой и средней активности.

В работе рассматривается установка для переработки РАО методом плазменной переработки. Установка состоит из печи шахтного типа с двумя плазменными горелками фирмы WestinghousePlasmaCorporationadivisionofAlterNRGCorp. (WPC), камеры дожигания, котлов-утилизаторов, рукавного фильтра, теплообменника. Агрегатная нагрузка установки 750 кг ТРО/ч. Установка выполняет все необходимые условия для утилизации радиоактивных отходов, качественного дожигания газа и сокращения концентрации вредных компонентов в этих газах до допустимых значений.

Выполнен расчет элементного состава РАО. Составлен материальный и тепловой баланс печи, найдены удельные выходы компонентов пирогаза и теплота, выделяемая плазматронами. Для камеры дожигания, также, был составлен материальный и тепловой баланс, найдены удельные выходы компонентов отходящих газов и найдена температура отходящих газов. Рассчитана зависимость удельного выхода компонентов горения из печи и необходимая теплота выделяемая плазменными горелками для реализации процесса от коэффициента избытка воздуха.

Подобрано оборудование для процесса: рукавный фильтр КФЕ45 фирмы «СПЕЙС – МОТОР», плазменные горелки MARK 11Н фирмы WestinghousePlasmaCorporationadivisionofAlterNRGCorp. (WPC), котлы-утилизаторы ПКС-Ц-10/40 компании ЗАО «ЭНЕРГОМАШ».

Определено оптимальное место размещение комплекса для переработки радиоактивных отходов. Планируется выполнить модернизацию установки, для совместного сжигания ТРО и ЖРО.

*А.Н. Салеева, студ. (КГЭУ, г. Казань),
Р.С. Калабанов, маг. (НХТИ, г. Нижнекамск);
рук. И.Н. Мадышев, к.т.н. (КНИТУ, г.Казань)*

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ В ГРАДИРНЯХ

Важной задачей энергетического комплекса является сокращение забора воды из природных источников путем усовершенствования оборотного водоснабжения на предприятиях [1]. На настоящий момент времени основным оборудованием для охлаждения оборотной воды являются градирни. Интенсификация охлаждения оборотной воды является актуальной задачей.

Авторами данной работы был разработан блок оросителя, представляющий несколько гофрированных перфорированных пластин, в которых проделаны отверстия диаметром 10 мм с шагом в 1,5 мм (рис. 1).

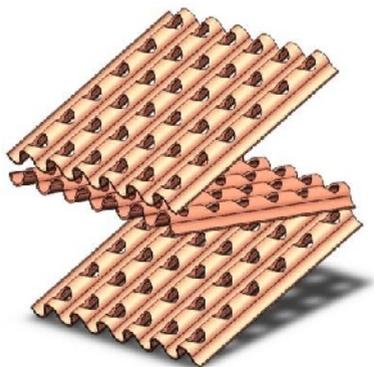


Рисунок 1 – Трехмерная модель блока оросителя градирни

В работе показано, что данный блок оросителя способствует увеличению охлаждения оборотной воды на 10 – 16 % относительно стандартного ячеистого блока.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-417.2019.8.

Библиографический список

1. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Хафизова А.И., Гайнатуллин Р.Р., Латыпов Д.Н. Снижение энергетических затрат при отводе низкопотенциального тепла от оборотной воды путем использования блока оросителя с гофрированными перфорированными пластинами // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22, № 10. С. 57-62.

Д.В. Сергеева, студ.;
рук. А.Е. Кондратьев, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА
ОБИТАЕМОЙ ЛУННОЙ СТАНЦИИ**

Россия намерена в 2030 году приступить к колонизации Луны. Проблема формирования безопасных условий является актуальной.

Цель: модель обитаемого жилого модуля с тепловым аккумулятором для обеспечения жизнедеятельности на лунной станции; обобщение теории о возможности колонизации.

В качестве источника тепловой энергии используется солнце. Солнечная энергия действует лишь в дневное время (на Луне лунный день составляет ~14,5 земных суток ровно, как и лунная ночь). Температура на поверхности Луны изменяется от +127 в дневное время до -173⁰С ночью. Учитывая большой температурный перепад, а также радиационные и метеоритные проблемы [1], предлагается сооружение жилого модуля на глубине 1м, где температура постоянная и составляет -35⁰С [2]. С использованием вакуумного солнечного коллектора и солнечной батареи в дневное время заряжаются электрический и тепловой аккумуляторы. Лунной ночью тепловое обеспечение производится от аккумулятора тепла [3]. Предлагается в качестве теплового аккумулятора использовать емкость, расположенную в лавовой трубке (образованной после извержений древних вулканов).

Одним из самых значимых аспектов лунной станции является обеспечение ее водой, хранение которой на поверхности невозможно из-за большого перепада температур, поэтому предлагается использовать ее в качестве рабочего тела теплового аккумулятора.

Вывод: предложенная конструкция заглубленного жилого лунного модуля с водяным тепловым аккумулятором гарантирует комфортные и безопасные условия для научных исследований в сфере планетологии, астрономии, а также добычанию полезных ископаемых и т.п.

Библиографический список

1. **Максим Заболоцкий.** Температура на луне, 2018. – URL: <https://spacegid.com/temperatura-na-lune.html>. (дата обращения: 07.09.19)
2. **Мухин Ю.** Лунная афера США. – Москва: Яуза, Эксмо, 2007г. – 512 стр.
3. **Сергеева Д.В., Кондратьев Е.А.** Особенности обеспечения жизнедеятельности на лунной станции. Научному прогрессу – Творчество молодых. Часть 2. – 2019. (страница 169)

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ANSYS ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Отложения, возникающие в процессе эксплуатации трубопроводных систем, приводят к снижению безопасности и энергопотерям, снизить которые можно своевременно контролируя и очищая внутренние поверхности [1]. В программном комплексе ANSYS были проведены расчеты для выявления изменений частотных характеристик колебаний элементов конструкции теплообменного оборудования. Методами численного моделирования построена математическая модель, где был выбран метод конечных элементов [2]. В качестве модели элементов конструкции теплообменного оборудования были взяты пластины, защемленные с четырех сторон: модель без осадка и с разной толщиной осадка (0.1, 0.3, 0.7, 1, 1.5, 2, 3 мм). Краткие результаты расчетов занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов пластины с разными толщинами отложений

Вид пластины Номер формы	чистая пластина	пластина со слоем 0.1 мм	пластина со слоем 0.3 мм	пластина со слоем 0.7 мм
Частота колебаний [Гц]				
1	1076	1081	1096	1152
2	2002	2012	2045	2160
3	2958	2971	3013	3165
Вид пластины Номер формы	пластина со слоем 1 мм	пластина со слоем 1.5 мм	пластина со слоем 2 мм	пластина со слоем 3 мм
1	1216	1355	1526	1927
2	2284	2551	2870	3586
3	3336	3709	4164	5202

Оценка состояния теплообменного оборудования может осуществляться сопоставлением максимумов частотных характеристик, измеренных виброакустических сигналов, со значениями собственных частот конструкции, рассчитанных по математической модели.

Библиографический список

1. **Снижение** потерь в теплообменном оборудовании теплообмена / Измайлова Е.В., Соловьев Д.В., Ваньков Ю.В. – Йошкар-Ола: ИГТУ, 2018. Ч. 2, С. 86-89.
2. **Изучение** коррозионных дефектов на параметры колебаний трубопроводов / Ваньков Ю.В., Серов В.В., Зиганшин Ш.Г., Измайлова Е.В. – Казань: Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. № 11-12, 2011. С. 141-149.

*А.И. Хафизова, асп.; Р.С. Калабанов, маг.(НХТИ, г. Нижнекамск);
рук. И.Н. Мадышев, к.т.н. (КНИТУ, г. Казань)*

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НАКЛОННО-ГОФРИРОВАННЫХ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Существует огромное разнообразие конструкций контактных устройств, каждая из которых обладает рядом особенностей и своих достоинств. Авторами данной работы была разработана конструкция наклонно-гофрированного контактного элемента с самораспределением жидкости, схема и описание конструкции представлена в работе [1].

В ходе данной работы проводились исследования распределения жидкости внутри конструкции, изменяя диаметры отверстий на гофрах. Были определены значения коэффициентов сопротивления с изменением числа Рейнольдса при различных плотностях орошения.

С ростом плотности орошения (рис. 1) коэффициент гидравлического сопротивления насадки резко возрастает, достигая пика при числах Рейнольдса в диапазоне 14300-16000. Резкий рост гидравлического сопротивления связан с захлебыванием устройства, а дальнейшее снижение вызвано интенсивным дроблением капель жидкости, что приводит к разрушению пленки жидкости.

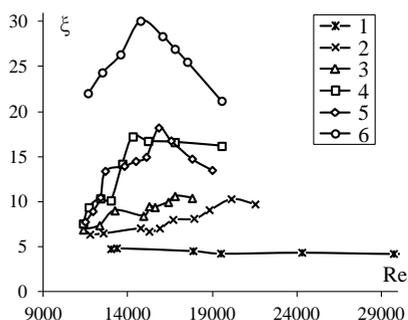


Рисунок 1- Изменение коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса по газу при различных плотностях орошения q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$: 1-0; 2-12; 3-18; 4-24; 5-31; 6-37

Полученные результаты показывают, что меньшее гидравлическое сопротивление приходится при плотностях орошения 12-31 $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и режиме течения при диапазоне чисел Рейнольдса 17700-21550.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-417.2019.8.

Библиографический список

1. Дмитриев А.В., Мадышев И.Н., Дмитриева О.С. Экспериментальное исследование гидравлических и тепломассообменных показателей наклонно-гофрированных контактных элементов оросителя градирины // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24. № 1. – С. 4-8.

*Э.М. Хуснутдинова, ассис.
(К(П)ФУ, г. Казань)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВА ВЯЗКОЙ НЕФТИ В ТЕПЛОБМЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ

Значительные энергетические затраты на извлечение и транспортировку высоковязких нефтей требует поиска нетрадиционных технологических решений.

Перекачка высоковязких нефтей с подогревом является самым распространенным способом трубопроводного транспорта, используемым данное время. Сокращение потерь тепла на трубопроводах может быть достигнуто нанесением теплоизоляционного покрытия на трубы, что является достаточно дорогим мероприятием. Высоковязкие нефти характеризуются сложным реологическим поведением и проявляют свойства псевдопластичных жидкостей. Это открывает возможности за счет управления скоростью сдвига в потоке управлять эффективной вязкостью нефти и может привести к существенному снижению гидравлического сопротивления транспортирующих трубопроводов. Реологические характеристики высоковязких нефтей зависят также от температурных условий, при которых выполняют перекачку [1]. При механическом воздействии система подвижна и течет, а при длительном покое (особенно при низких температурах) происходит ее застывание, образуется парафиновая структура, прочность которой возрастает во времени, что порождает значительные энергозатраты, связанные с необходимостью периодически снижать вязкость высоковязких нефтей для преодоления сил вязкого трения. С целью перекачки нефти после длительного хранения в резервуарах традиционно используют терморазогрев, способствующий снижению их эффективной вязкости.

Для организации сдвигового воздействия на поток обычно применяются интенсификаторы в форме трехзаходной шнековой вставки, которая относится к области способов интенсификации конвективного теплообмена и устройствам для транспортировки высоковязких нефтей, а также может быть использована в условиях промышленной переработки.

Библиографический список

1. **У.К. Vachagina, А. I. Kadyrov, Е.М. Khusnutdinova, I.A. Konakhina**, Fluid Dynamics, 2019, Vol. 54, no. 3, pp. 319–328. Pleiades Publishing, Ltd. (ISSN 0015-4628)

*Е.М. Аленина, студ.; рук. С.В. Васильев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Одним из направлений повышения тепловой экономичности работы ТЭС и АЭС является применение высокоэффективного теплонасосного оборудования. Наиболее распространенный вариант – применение тепловых насосов парокомпрессионного типа (ПКТН), характеризующихся высокими коэффициентами трансформации, однако на крупных энергетических объектах наиболее целесообразно использование абсорбционных тепловых насосов (АБТН), которые в отличие от первых, характеризуются наименьшими затратами энергии на собственные нужды, что является особенно актуальным при сжигании дорогостоящих топлив органического происхождения [1].

В работе исследовано применительно к стандартной тепловой схеме энергоблока двухконтурной КАЭС с турбиной К-220-44-3 решение по возможности обеспечения вторичного промперегрева пара в последней ступени турбоустановки благодаря использованию абсорбционных тепловых насосов. Автором были выполнены расчеты, определены основные технико-экономические показатели для существующей тепловой схемы и исследуемой. Сравнительный анализ полученных расчетных данных по двум схемам показал, что введение вторичного промперегрева пара в последней ступени турбины приводит к увеличению общего срабатываемого теплоперепада, что сказывается на снижении расхода пара на турбоустановку, позволяет повысить КПД турбоустановки по выработке электроэнергии и абсолютный электрический КПД турбины.

Библиографический список

1. Ефимов Н.Н., Папин В.В., Малышев П.А., Безуглов Р.В. Анализ использования тепловых насосов на тепловых и атомных электростанциях / Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки - 2010. - № 4. - С. 35-39.

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕМКОСТНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ И ГРАДИРЕН

В настоящее время одной из проблем современного общества является рациональное использование топливно-энергетических ресурсов. Для решения поставленной задачи в Ивановском государственном энергетическом университете создана «Лаборатория энергосберегающих технологий и энергоэффективного оборудования» (аудитория А-170), в которой созданы проекты, включающие в себя разработку энергосберегающих мероприятий.

В ходе данной работы нами было принято решение установить вентиляторную градирню для обеспечения охлаждения воды. На основании проведенных расчетов была принята к проектированию градирня типа ГРД-2М с характеристиками: расход воздуха через вентилятор $V_{\text{в}}=2700 \text{ м}^3/\text{ч}$; тепловой поток $Q=14 \text{ кВт}$, площадь оросителя $F_{\text{ор}}=1,38 \text{ м}^2$, число секций градирни $N=1$. Установка градирни предполагается на улице. В настоящее время разрабатываются конструкторские решения (расчет фундамента, установочных конструкций и т.д.) для монтажа градирни.

Так же ведется работа по проектированию водяных сетей от теплового насоса TRITON к теплообменному аппарату ВРВ500 объемом 500л и к градирне ГРД-2М. Предлагаю к рассмотрению теплоаккумулятор S-TANK с параметрами $V=500 \text{ м}^3$.

Проведен гидравлический расчет предполагаемой схемы водоснабжения и выбрано насосное оборудование. Предполагается установить циркуляционный насосы типа UPS 32-120F с характеристиками: $\Delta H_{\text{общ}}=7,2 \text{ м.вод.ст.}$ и $V=3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Внедрение энергосберегающих технологий в лаборатории А-170 позволяет решить экономические и экологические проблемы, кроме того неоспоримое достоинство в применении обратного водоснабжения состоит в снижении водопотребления и исключении сброса сточных вод в водоемы или канализацию.

Библиографический список

1. **В.И. Калицун.** Гидравлика, водоснабжение и канализация. 4-е издание, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 2001.
2. **Кичигин М.А., Костенко Г.Н.** Теплообменные аппараты и выпарные установки. Москва-Ленинград, ГЭИ, 1955. - 392 с.

*Кабаков П.А., Парфенов Г.И., студ.;
рук-ли В.М. Захаров, к.т.н., доц.; Н.Н. Смирнов, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЗА СЧЁТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОЙ САМОДИАГНОСТИКИ

Сотрудниками ИГЭУ были разработаны и введены в эксплуатацию инновационные конструкции измерительных трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН) [1] на основе резистивных делителей, осуществляющих технический и коммерческий учет потребленной электроэнергии, а также участвующих в работе систем релейной защиты и автоматики. В электроэнергетике системы тепловой самодиагностики измерительных трансформаторов, работающие в режиме реального времени, отсутствуют, а тепловое обследование часто проводится по графику обслуживания, что сказывается на надежности работы электрооборудования. Следовательно, разработка и создание новых систем самодиагностики теплового состояния измерительных трансформаторов, выдающих значения температуры по нескольким точкам, в том числе и по наиболее разогретому элементу, в реальном времени, является важной и актуальной задачей особенно для управления работой "умных" электрических сетей.

На основе данных физического и математического моделирования [2] процесса теплообмена трансформатора с окружающей средой при различных значениях температуры воздуха, инсоляции, электрического напряжения в сетях был разработан алгоритм тепловой самодиагностики и защиты от перегрева трансформатора.

На основе созданных алгоритмов была разработана система тепловой самодиагностики для ЦТТН 6-220 кВ.

Библиографический список

- 1. Litvinov, S.** Thermal and aerodynamic tests of a digital combined current and voltage transformer / S. Litvinov, V. Lebedev, N. Smirnov, V. Tyutikov, S. Shuvalov // MATEC Web of Conferences. IManE&E 2018 — Les Ulis, France: EDP Sciences.— 2018.— № 178 (09006). — p. 6
- 2. Gotovkina, E.E.** Mathematical simulation of thermal state of digital current and voltage transformer in unfavourable weather conditions / E.E. Gotovkina, G.I. Parfenov, N.N. Smirnov, V.D. Lebedev, V.V. Tyutikov // MATEC Web of Conferences. — 2018.— №194. — p. 6 (01021)

*М.Д. Калинин, А.М.Грибкова, студ.;
рук. В.К. Пыжов, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИНФРАКРАСНОГО ОБОГРЕВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Инфракрасное отопление - одна из разновидностей систем отопления, где в качестве источников тепла используются инфракрасные излучатели. Вся энергия от инфракрасных лучей беспрепятственно достигает обогреваемых поверхностей и людей в зоне действия прибора. Это позволяет снизить среднюю температуру воздуха в помещении на 4-6 °С, сохранив при этом тепловой комфорт и снизив расходы на поддержание микроклимата и энергоносители до 15%.

Целью работы является исследование на физической модели влияния различных факторов на эффективность работы систем газового и электрического инфракрасного отопления и создание математической модели в программном комплексе Comsol Multiphysics .

Для исследования эффективности работы систем инфракрасного отопления в лаборатории «Энергосберегающих технологий и энергоэффективного оборудования ИГЭУ» были созданы экспериментальные стенды инфракрасного отопления, позволяющие исследовать разнообразные режимы инфракрасного обогрева с использованием газового инфракрасного «Adrian-rad AA-221» и электрического инфракрасного «Ругох Heatline 32» излучателей.

Тепловой режим i -ой схемы организации инфракрасного отопления для j -го состояния внутреннего и наружного климата должен определяться с учетом динамических тепловых процессов внутри и снаружи помещения.

Для этой цели создается математическая модель в программном комплексе Comsol Multiphysics, которая учитывает динамику процессов теплопереноса и гидродинамику системы инфракрасного отопления. Для получения требуемых краевых условий на стендах проведены экспериментальные исследования.

Полученная математическая модель динамических режимов в системе инфракрасного отопления будет включена в систему создания динамического микроклимата, использующую комбинированную систему создания требуемых параметров климата.

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния реальных физических свойств паровоздушной смеси на эффективность работы опреснительных установок гигроскопического типа.

В силу того, что паровоздушная смесь, полученная в результате процесса гигроскопического опреснения, содержит большое количество пара, близкое к состоянию насыщения, то применение законов идеальных газов к парогазовой смеси приводит к погрешности, величина которой возрастает с увеличением доли пара в смеси.

Для того, чтобы учесть реальные свойства паровоздушной смеси необходимо обратиться к уравнениям Ван-дер-Ваальса, Вукаловича и Новикова, Моляе, Бертелло для реального газа. Физические свойства влажного воздуха целесообразно определять посредством использования уравнения Вукаловича-Новикова, так как оно достаточно точно учитывает свойства реальных газов[1]:

$$\left(P_n + \frac{a}{v_n^2}\right) \cdot (v - b) = R_n \cdot T \cdot \left(1 - \frac{c}{v_n \cdot T^{\frac{3+2m}{2}}}\right)$$

где P_n – парциальное давление пара, Па; v_n – удельный объем пара, м³/кг; T – температура паровоздушной смеси, К; a, b – постоянные уравнения состояния, м⁴/кг, м³/кг; c, m – постоянные, определяемые экспериментально, R_n – газовая постоянная пара, Дж/(моль К).

В результате проведенных исследований было установлено, что при определении параметров паровоздушной смеси, циркулирующей в опреснительных установках гигроскопического типа, необходимо учитывать то, что водяной пар, входящий в ее состав, является реальным газом. С повышением парциального давления погрешность, возникающая при использовании уравнения Менделеева-Клапейрона для расчета параметров насыщенного воздуха возрастает.

Библиографический список

1. **Г.А. Михайловский** Термодинамические расчеты процессов парогазовых смесей. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр.отд-ние, 1985. – 184с., ил.

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

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЭЖЕКЦИОННОГО КОНДИЦИОНЕРА-ДОВОДЧИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ СОЗДАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МИКРОКЛИМАТА

В настоящее время актуальным вопросом является создание многозональных систем поддержания микроклимата. Иногда в ряде обслуживаемых зон, связанных с нервно-эмоциональным режимом работы, целесообразно поддержание динамического микроклимата.

Для организации подобного микроклимата необходимо применение оборудования для передачи теплоты и холода, работающих в динамическом режиме совместно с центральными системами кондиционирования.

В качестве такого оборудования, позволяющего передавать в разные зоны количество теплоты и холода могут использоваться как вентиляторные доводчики, так и эжекционные кондиционеры-доводчики (ЭКД), которые являются, на наш взгляд, наиболее перспективными. Одна из конструкций ЭКД предложена в [1]. Необходимо отметить, что данная конструкция обладает рядом недостатков, среди которых следует отдельно выделить высокое значение требуемого давления наружного воздуха перед ЭКД, поступающего от системы кондиционирования (150 – 500 Па).

В предлагаемой конструкции ЭКД [2] за счет изменения схемы обработки воздуха достигается малое сопротивление движению эжектируемому потоку, позволяющее уменьшить требуемое значение давления наружного воздуха, организующего процесс эжекции.

Эффективность работы предложенной конструкции подтверждается результатами математического моделирования в программном комплексе COMSOL MULTIPHYSICS.

Библиографический список

- 1. Кокорин О.Я.** Установки кондиционирования воздуха. Основы расчета и проектирования. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1978. – 264 с.
- 2. Пыжов В.К.** Испытание и наладка систем технологического и комфортного микроклимата: Учебное пособие / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново, 2017. – 204 с.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА "ТЕПЛЫЙ ПОЛ" ДЛЯ АУДИТОРИИ А-170

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

Целью создания лабораторного стенда «теплый пол» является демонстрация отопительной системы с использованием панельного отопления, при создании микроклимата в помещениях различного назначения. Данный стенд позволяет проводить испытания для оценки эффективности работы панельного отопления и систем отопления в целом.

Данный стенд планируется в двух вариантах. В одном из них планируется демонстрация работы электрического "теплого пола". В другом в качестве теплоносителя будет использоваться горячая вода.

Для иллюстрации динамики проходящих процессов теплообмена теплых полов с электрическим и водяным обогревом использовались модели, полученные при использовании программного комплекса COMSOL Multphysics. Для лучшего понимания студентами происходящих процессов было произведено сравнение "теплых полов" в зависимости от видов раскладки труб, параметров материалов и сред и т.д.

В результате данной работы были выполнены следующие задачи:

- произведен тепловой расчет отопительных приборов лабораторного стенда;
- построена модель аудитории А-170 с отоплением с использованием «теплого пола», которая наглядно иллюстрирует динамику процессов теплообмена при использовании теплых полов с электрическим и водяным обогревом ;
- составлена смета для лабораторного стенда "Электрический и водяной теплый пол".

Библиографический список

1. **Пыжов, В. К.** Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека: учебник / В. К. Пыжов; ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина".— Иваново, 2014.

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

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

В современном мире для компенсации потерь тепловой энергии через ограждающие конструкции зданий широко применяют системы водяного отопления.

Целью работы является создание математической модели, при помощи которой можно с достаточной точностью определить влияние всех внешних факторов, оказывающих воздействие на эффективность системы отопления. Это позволит значительно компенсировать недостатки системы отопления.

Для исследования эффективности работы систем отопления, применяемых в России и за рубежом, в лаборатории «Энергосберегающих технологий и энергоэффективного оборудования ИГЭУ» был создан экспериментальный стенд водяного отопления, позволяющий исследовать разнообразные системы отопления с использованием источников теплоты и холода различного потенциала – тепловые насосы «Clivet» и «Triton» и автономные источники теплоснабжения – котлы «De Dietrich».

Для построения комплексной математической модели стенда используется специализированное программное обеспечение, позволяющее учитывать совместное протекание процессов гидродинамики, тепло- и массопереноса, Comsol Multiphysics.

Создаваемая математическая модель должна учитывать динамический режим работы системы отопления. Это связано с тем, что современные системы отопления имеют в своём составе различные виды автоматической регулирующей арматуры, позволяющей изменять параметры системы при колебаниях температуры окружающей среды.

Текущей задачей является доработка уже имеющихся математических моделей, для каждого отдельно взятого радиатора и дальнейшее объединение полученных моделей в единую систему.

В конечном итоге полученная комплексная модель стенда должна быть использована при проведении лабораторных работ для изучения динамических режимов работы системы традиционного водяного отопления.

А.А. Шмелева, студ.; М.Р. Гречин, студ.;
рук. С.В. Васильев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТ КОТЕЛЬНОЙ**

В сложившейся на сегодняшний день обстановке в ряде регионов, где находится большое количество предприятий по переработке древесины, одним из реальных инструментов снижения затрат на выработку тепловой энергии может являться использование местных видов топлива.

Целью работы является повышение эффективности системы теплоснабжения от котельной, отпускающей тепловую энергию на нужды промышленности и ЖКХ, расположенной в Архангельской области, топливом для которой является мазут, путем перевода ее в мини-ТЭЦ с использования биотоплива. В работе проведен анализ применения в качестве первичных двигателей: лопастной турбины, паровинтовой и паропоршневой установки, а также использование твердого биотоплива из древесины, которым может быть как древесный порошок, опилки, стружки, щепа, дровяная древесина, так и переработанные отходы: древесные брикеты, древесные топливные гранулы (пеллеты)[1,2].

На основании проведенного анализа авторами установлено, что наиболее эффективным решением для производства электроэнергии с использованием твердой биомассы является мини-ТЭЦ с паровыми поршневыми двигателями. Паропоршневые двигатели способны выдерживать перегрузку до 30% сверх номинального значения. Значительные крутящие моменты делают этот двигатель более адаптивным к переменным нагрузкам.

В работе для обоснования выбора альтернативного источника теплоснабжения были определены технико-экономические показатели для существующего и предлагаемого варианта. Расчеты проводились для различных видов топлива: мазут, газ, пеллеты и древесная щепа.

Реконструкция котельного оборудования существенно повышает тепловую эффективность объекта, а также надежность эксплуатации.

Библиографический список

- 1.Трохин И.С.** О применении поршневых паровых машин в зарубежной биоэнергетике // Промышленная энергетика. – 2014. - №10. – с.43-44
- 2. Жихар Г.И.** Использование местных топлив для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии // Теплоэнергетика. – 2017. - №2. – с.41-49

СЕКЦИЯ 6

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

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

Секретарь –
старший преподаватель **Смирнов Н.Н.**

*А.А. Алтынбаева, маг.; рук. Н.Л. Бабикова, к.т.н., доц.
(УГАТУ, г. Уфа)*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МЕРОПРИЯТИЯ НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

На сегодняшний день как в отечественной, так и в зарубежной практике обоснованную популярность приобретает вопрос энергосбережения во всех сферах жизнедеятельности человека как составляющей части перехода к рациональному использованию энергоресурсов и поиска новых источников энергии и т. д.

При решении актуальных проблем развития энергетики одно из наиболее перспективных направлений - разработка и внедрение мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности. Особенно остро поставлен вопрос на фоне волнительных глобальных изменений климата.

Нефтехимическая промышленность является важным фактором стабильности и основой для развития глобальной экономики. Данная отрасль промышленности относится к энергоёмким потребителям, на таких предприятиях большинство технологических процессов основано на электрической энергии (от добычи до транспортировки). Поэтому вопрос энергосберегающих мероприятий на объектах, являющихся одним из основных крупных потребителей энергоресурсов, требует глубокого анализа и поиска возможностей по снижению энергетического потребления и сохранению окружающей среды с точки зрения ресурсов.

Практическая значимость работы в обосновании целесообразности перехода к энергосберегающим технологиям и максимальной рационализации расходования и применения невозобновляемых энергоресурсов, от использования которых ещё нет возможности отказаться на 100% взамен альтернативных источников энергии для бесперебойного полноценного обеспечения в масштабах нефтеперерабатывающего производства.

Библиографический список

1. **Федеральный закон от 23.11.2019 г. № 261-ФЗ** «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

*А. С. Бушуев, студ.; рук. Н. П. Краснова, ст. преп.
(СамГТУ, г. Самара)*

ЭФФЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ

Одной из главных задач энергосбережения в тепловых сетях является уменьшение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя по трубам от ТЭЦ или котельных к потребителям. Теплообменное оборудование и трубопроводная обвязка требуют обязательной теплоизоляции, что существенно повышает эффективность теплоснабжения. Для изоляции используют разные материалы: каучук, вспененный полиэтилен, минеральную вату, пенополиуретан, краски. В данной статье рассматривается два последних вида, как самые перспективные.

Пенополиуретан очень широко распространён и его активно применяют при прокладке теплотрасс, при монтаже отводов. Преимущества материала: низкий коэффициент теплопроводности $0,019-0,025 \text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, широкий диапазон рабочих температур от -160 до $+150^\circ\text{C}$, большой срок эксплуатации [1]. При этом имеется существенный недостаток: этот вид теплоизоляции боится ультрафиолета.

Для утепления труб теплоснабжения используют различные теплоизоляционные краски. Это вид долговечных и трудноудаляемых покрытий. Преимущества: высокая термостойкость от -60 до $+260^\circ\text{C}$, коэффициент теплопроводности $0,012 \text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, К недостаткам относят высокую стоимость и большой расход на квадратный метр. Основные области применения: трубы теплотрасс. Двухмиллиметровый слой такой окраски заменяет $40-50$ мм слой полиуретановой изоляции не сокращает полезного пространства. С помощью краски можно покрыть все изгибы труб и запорную арматуру. Теплоизоляция из специальной краски обойдётся дороже чем изоляция из пенополиуретана, но и теплоизолирующие свойства её будут выше. [1]

Таким образом, чтобы утеплить трубопроводы нужно грамотно подбирать теплоизоляционный материал. Так для теплотрасс лучше предпочесть влагостойкие и жёсткие утеплители такие как пенополиуретан, а для участков в теплоузлах, для теплообменного оборудования можно использовать специальные термокраски.

Библиографический список

1. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003 (с Изменением N 1).

*А. А. Земсков, студ.; рук. Е. А. Володин, ст. препод.
(СамГТУ, г. Самара)*

ПОГОДОЗАВИСИМОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Сектор многоквартирного жилья является одной из самых проблемных областей в том, что касается экономии энергии. До 75% общего потребления энергии в жилищном секторе - это снабжение горячей водой и отопление. Значительная часть многоквартирных домов были построены с учетом старых строительных норм и на сегодняшний день не отвечают современным требованиям энергосбережения. Энергосбережение в многоквартирном доме - это прежде всего уменьшение потерь тепла за счет утепления полов, стен, потолков. Также сюда можно отнести модернизацию системы отопления, которая позволит оптимально расходовать энергию, не нарушая при этом комфортные условия проживания.

К такой модернизации относится внедрение систем погодозависимого регулирования. Система управления отоплением на основе текущих погодных условий состоит из нескольких основных компонентов: управляющий контроллер, датчики температуры и регулирующий клапан с насосом. Принцип работы контроллера основан на анализе данных с четырех температурных датчиков: внутри дома, снаружи дома, на прямом трубопроводе и на возврате. При увеличении или уменьшении температуры на улице контроллер дает команду исполнительным механизмам на закрытие или открытие и соответственно увеличение или уменьшение поступления горячей воды из тепловой сети. Автоматика анализирует данные и по специальным алгоритмам рассчитывает температуру. Системы с погодозависимым регулированием обеспечивают экономию в 15-20%.

Рассмотрим эффективность внедрения системы погодозависимого регулирования на примере типового 9-этажного панельного здания объемом $V=27000 \text{ м}^3$. Тепловая нагрузка такого здания составит 4847,6 Гкал/год (согласно СП 131.13330.2018 для г. Самара). При установке систем погодозависимого регулирования эта величина станет равна 4120,4 Гкал/год. Экономия составит – 727,2 Гкал/год, что в денежном эквиваленте при тарифе 1402 рубля за 1 Гкал будет составлять 1,02 млн рублей. При таких условиях внедрение системы погодозависимого регулирования окупается в течении одного отопительного сезона и является очень эффективным энергосберегающим мероприятием.

Библиографический список

1. Свод правил. Строительная климатология. СП 131.13330.2018; Москва, 2018. – 26 с.

*К.Т. Ибраева, асп.; Е.В. ШUTOва, студ.;
рук. Р.Б. Табакаев, к.т.н, научн. сотр.
(ТПУ, г. Томск)*

ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БИОМАССЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Во многих странах мира энергетика, основанная на использовании растительной биомассы, становится эффективной самокупаемой отраслью, конкурентоспособной по отношению к основанной на использовании ископаемого топлива [1]. Более того, использование биомассы для выработки тепловой и электрической энергии является эффективным способом утилизации отходов, которые занимают большие площади.

Однако необходимо выделить, что при сжигании некоторых видов биомассы происходит образование золовых отложений, снижающих эффективность и надежность работы котельного оборудования. Механизм образования этих отложений до сих пор полностью не изучен. В связи с этим для эффективного сжигания и переработки биомассы требуется изучение характеристик как органической, так и минеральной частей биомассы.

В работе исследовано несколько видов агропромышленных отходов: отруби, солома, скорлупа кедровых орехов. Установлено, что зольность отходов не превышает 6,9 %. Несмотря на низкую зольность, теплота сгорания варьируется от 16,6 до 18,1 МДж/кг. При определении элементного состава минеральной части биомассы наибольшее содержание среди элементов зафиксировано у натрия, магния, калия, а содержание железа и марганца относительно мало (не превышает 0,1 %). Оценивая результаты характерных температур плавкости золы, можно отметить, что температура начала деформации золы отрубей (t_A) составила 780 °С, что свидетельствует об образовании отложений при сжигании отрубей. Для остальных рассматриваемых проб t_A превысила 1255 °С. Сопоставляя анализы на примере отрубей, можно предположить, что легкоплавкость золы связана с наличием низкотемпературных плавящихся соединений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90148.

Библиографический список

1. DuS., YangH., QianK., WangX., ChenH. Fusion and transformation properties of the inorganic components in biomass ash // *Fuel*. 2014. V.117. P. 1281-1287.

*В.Ю. Игнатов, асп.; рук. Ю.Е. Николаев, д.т.н., проф.
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

СРАВНЕНИЕ СХЕМ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ МАЛОЙ ТЭЦ И ВЭУ

Обширная территория РФ не позволяет получить в разных регионах страны надежное электроснабжение. Особенно это относится к небольшим городам и поселкам, получающих электрическую энергию по протяженным линиям электропередач. С целью повышения надежности электроснабжения могут использоваться источники на возобновляемой энергии (ВИЭ), получивших широкое распространение в мире, однако их применение также требует подключения к линиям электропередач. Внедрение гибридных энергокомплексов на базе ВИЭ и источников, использующих органическое топливо, обеспечит повышение надежности и качества энергоснабжения.

Авторами рассмотрены два варианта схем автономных энергокомплексов на базе малой ТЭЦ с газотурбинными установками (ГТУ) и ветроэнергетической установкой (ВЭУ). В первой схеме электроэнергия, выработанная на установках, отпускается в сеть. При этом ГТУ обеспечивают компенсацию недовыработки энергии на ВЭУ. Во втором варианте выработанная электроэнергия на ВЭУ используется для подогрева воздуха перед камерой сгорания ГТУ[1]. В рассмотренных схемах отпуск тепловой энергии осуществляется от котла-утилизатора ГТУ и пикового котла.

Для технико-экономической оценки вариантов схем разработана математическая модель, позволяющая определить основные количественные и экономические показатели совместной работы ГТУ и ВЭС в автономной системе энергоснабжения. Результатом расчета является выработка электроэнергии на ВЭУ по месяцам в зависимости от среднемесячной скорости ветра, электрическая, тепловая мощность, расход топлива ГТУ и электрический КПД. На основании результатов расчетов определена технико-экономическая эффективность схем.

Таблица 1 – Показатели экономической эффективности

	ЧДД, млн. руб.	ИД	Срок окупаемости, лет	ВНД
Вариант 1	651,1	1,51	12,73	0,152
Вариант 2	1575,7	2,28	7,42	0,218

Библиографический список

1. **Стенников, В.А.** Интегрированные схемы энергоснабжения на базе ТЭЦ и ВЭС / В.А. Стенников [и др.] // Промышленная энергетика. – 2016. - №11. С. 57-62.

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

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ КОМПЛЕКС ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛА И ХОЛОДА

Основным назначением научно-технического продукта является преобразование солнечной энергии в тепловую энергию, идущую на автономное отопление и горячее водоснабжение объектов (дома, коттеджи, производственные помещения и др. помещения) в период солнечной активности (март-ноябрь) и холодоснабжение в теплое время года[1].

Проект разработан на основе абсорбционных холодильных установок, но вместо традиционного нагревателя предлагается использование солнечного коллектора.

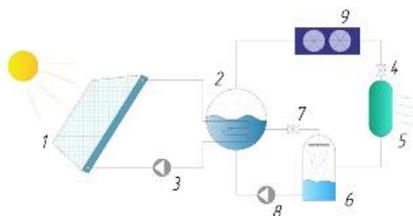


Рисунок 1 – Схема абсорбционной установки для холодоснабжения с использованием гелиоколлектора: 1 - гелиоколлектор; 2 - десорбер; 3, 8 - насосы; 4, 7 - клапаны; 5 - испаритель; 6 - абсорбер; 9 –конденсатор.

Через гелиоколлектор происходит нагревания жидкости в замкнутом контуре до нужной температуры, которая подается в десорбер, где содержится бинарная смесь. После ее нагревания происходит испарения воды, то есть хладагента, которая в парообразном состоянии поступает в конденсатор и переходит в жидкое состояние. После она дросселируется при прохождении через регулирующий клапан ее температура понижается и жидкость поступает в испаритель. Далее отработавшие водяные пары поступают в абсорбер, где их поглощает раствор бромистого лития. С помощью насоса смесь перемещается в десорбер, где после испарения из него воды, происходит перемещение бромистого лития обратно в абсорбер с помощью клапана.

Библиографический список

1. Изотова Е.А. Разработка установки теплохладоснабжения зданий// Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы VI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей. - Волгоград: ВолгГТУ, 2019. – с. 361-363.

*К.А. Комаков, студ.; Д.В. Ковалев, студ.,
(Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург);
рук. А.В. Банников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСКОМПРЕССОРНОЙ ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

В данной работе анализируется возможность использования бескомпрессорной системы охлаждения для пассивного отвода тепла от микропроцессора. Отличие от традиционного холодильного цикла заключается в изохорном сжатии паров хладагента после испарителя.

Для анализа работоспособности данной установки собирается экспериментальный стенд, рисунок которого представлен ниже. Изначально установка работает на хладагенте – вода с высокими температурными уровнями (100-200 °С) для удешевления сборки. На основе реальной модели в программном пакете Comsol Multiphysics и Ansys Fluid Flow разрабатывается математическая модель. Планируемым результатом моделирования является получение перечня хладагентов, оптимальных по давлению и температурам кипения и конденсации. Так же ожидается более высокий теплоотвод от испарителя по сравнению с традиционными системами охлаждения микропроцессоров (системы воздушного и водяного отопления).

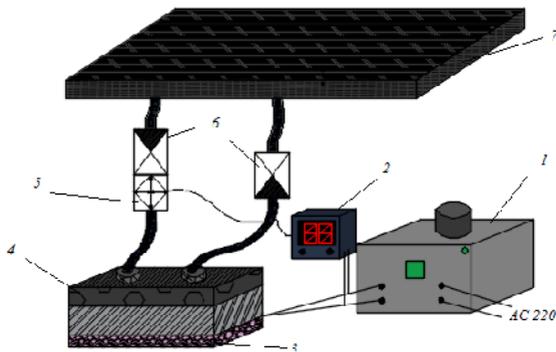


Рисунок 1 - Принципиальная схема лабораторного стенда.
1 – ЛАТР, 2 – Термостат цифровой, 3,5 – Нагреватель, 4 – Водоблок (испаритель), 6 – Обратные клапана, 7 – Воздушный радиатор (конденсатор).

*Д.А. Кравцов, асп.; рук. Н.М. Савченкова, к.т.н., доц.
(НИУ МЭИ, г. Москва)*

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД КАК ИСТОЧНИК СКРЫТОЙ ТЕПЛОТЫ

Испарение с водяных поверхностей – фундаментальная сложная задача, так как в реальных условиях оно осложнено конвективным движением жидкости и емкостью водоема. В жидкости возникают сложные внутренние конвективные токи, которые сопровождаются внешним теплообменом между поверхностью жидкости и потоками воздуха, зависящие от режимов течения и, в ряде случаев, что предполагает гидродинамическое взаимодействие движущегося газа и поверхности жидкости. Часто этот процесс сопровождается лучистым теплообменом между поверхностью и окружающими предметами [1]. Массовый поток испаряющегося вещества с поверхности также будет зависеть от движения слоев жидкости и окружающего воздуха. В таких случаях, когда жидкость движется под действием внешних сил: перемешивающие устройства, насосы, в случае с бассейном это просто пловцы, задача дополнительно усложняется. В общем случае мы имеем дело с сопряженным теплообменом, который целесообразно одновременно исследовать как численно, так и экспериментально [2]. Для определения тепловых и массовых потоков требуется разработка математических моделей, их реализация в средах численного моделирования, таких, например, как ANSYS FLUENT или COMSOL Multyphysics, и проверка моделей путем сопоставления с более простыми математическими моделями, поддающимся аналитическим решениям и имеющим ясный физический смысл, а также проведение экспериментальных исследований на разрабатываемых лабораторных установках с применением современных методов измерения и измерительных приборов, с возможным применением масштабирования для переноса полученных результатов на реальные объекты.

Библиографический список

- 3. Горяев А.Б.** Совершенствование методов расчета аппаратов и установок для глубокой утилизации теплоты влажных газов и разработка мер по повышению эффективности ее использования. ВАК, 2011.327 с.
- 4. Fernandez M.I.** Modelling spreading, vaporization and dissolution of multi-component pools. PhD public version, 2013. 222 с.

А.А. Морозова, студ.; М.М. Чурасов, студ.;
рук. Е.Ю. Анисимова, к.т.н., доц. (ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск)
АНАЛИЗ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МКД ТИПОВЫХ СЕРИЙ

Проблема избыточного потребления тепловой энергии зданиями типовых массовых серии в последнее время приобрела особую значимость в виду несоответствия их требованиям в области энергосбережения. Поэтому актуальной является тема исследования расхода тепловых энергоресурсов многоквартирными домами (МКД) типовых серий. Показателем расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию является удельная тепловая характеристика, q . Для выявления избытка потребления тепловой энергии, проводились расчеты удельной тепловой характеристики для зданий распространённых типовых серий.

Удельная тепловая характеристика рассчитывалась с использованием разных методик: q_1 определялась при расчете энергопаспорта здания, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$; q_2 рассчитывалась с учётом полных тепловых потерь здания, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$; q_3 удельная тепловая характеристика, отнесённая к $1 м^2$ общей площади здания, $\frac{Вт}{м^2}$; $q_{ОВ1}^{TP}$ нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии по СП 50.13330.2012, $\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$; $q_{ОВ2}^{TP}$ нормируемый удельный показатель максимальной тепловой нагрузки на $1 м^2$ по СП 124.13330.2012, $\frac{Вт}{м^2}$.

Таблица 1 – Сводный анализ удельных тепловых характеристик здания

Наименование серии	$q_1, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	$q_2, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	$q_{ОВ1}^{TP}, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	$q_3, \frac{Вт}{м^2}$	$q_{ОВ2}^{TP}, \frac{Вт}{м^2}$
1-438	0,466	0,398	0,359	103,3	91
1-464	0,723	0,587	0,359	120,4	80
121	0,488	0,502	0,319	115,5	74

Значения удельных характеристик q_1 и q_2 примерно равны, что свидетельствует о достоверности методик расчета. Путем сравнения q_1 и q_2 с $q_{ОВ1}^{TP}$ получилось, что удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию превышает нормируемые значения, следовательно требуется утепление наружных ограждающих конструкций зданий. В результате расчетов тепловых нагрузок, отнесенных к $1 м^2$, выяснилось, что величина q_3 в среднем превышает $q_{ОВ2}^{TP}$ на 27 %. Таким образом, использование нормативных показателей из СП124.13330.2012, может привести к тому, что количества тепловой энергии будет недостаточно для покрытия тепловых потерь здания.

Нгуен Тиен, асп.; рук. К.Х. Гильфанов, д.т.н., проф.
(КГЭУ, г. Казань)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА ПОТЕРЬ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПОДСТАНЦИЙ

Оценка экономических показателей рекуперации тепла проводится путем сравнения альтернативных схем отопления помещений при различных сценариях с использованием электродкотла, подогревателя или теплового насоса с/без утилизации тепла. Номинальная мощность трансформатора 15 MVA, процент загрузки 70%, температура воды на входе промежуточного теплообменника 7,7 °С, коэффициент эффективности цикла теплового насоса 60%, процент рекуперации тепла 80%. Температура воды на входе стандартных радиаторов равна 55 °С. Выполнены четыре варианта расчета с учетом времени, в течение которого система отопления используется в течение года. Сценарии предполагают отопление помещения электродкотлом (А) или тепловым насосом (В, С, D), с рекуперацией тепла потерь при постоянном (С) и уменьшенном на 20 % расходе (D). Расчетные сроки окупаемости инвестиций, полученные для различных сценариев рекуперации тепла представлены на рис. 1.



Рисунок 1 - Сроки окупаемости различных сценариев рекуперации тепла

Сроки окупаемости в ресурсосберегающие системы отопления, рассчитываются путем сравнения сроков окупаемости с электродкотлами, при этом учитываются эксплуатационные затраты с дополнительными инвестиционными затратами, необходимыми для установки теплового насоса и оборудования рекуперации тепла.

Можно заметить, что если система отопления работает в течение 50% года, система рекуперации тепла на основе теплового насоса обеспечивает срок окупаемости менее 4 лет.

*А.В. Скурихин, асп.; рук. А.В. Костановский, д.т.н., проф.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва)*

РАЗДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПОРИСТЫХ ОГНЕУПОРНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

При приемке изделий из огнеупорных теплоизоляционных материалов (ОТИМ) требуется контроль коэффициента теплопроводности λ . Данный процесс является затратным по времени и требует наличия дорогого оборудования и труда персонала. В этой связи, представляет научно-практический интерес разработка методики расчетно-аналитической оценки возможной величины λ ОТИМ.

Для получения ОТИМ в его состав могут добавляться пористые присыпки, например, вспученный вермикулит (для краткости, просто вермикулит), среди свойств которого можно выделить малую насыпную плотность ($70-120 \text{ кг/м}^3$) и низкий «эффективный» коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{эфф}}$ (менее $0,5 \text{ Вт/(м}^*\text{К)}$) при $T = 1300 \text{ К}$) [1].

На практике ОТИМ используются в области температур вплоть до 1600 К , так что необходимо рассматривать задачу сложного теплообмена, где должны быть учтены все три механизма теплопередачи: «молекулярная» (или «фононная») теплопроводность, излучение и конвекция. Исходя из независимой природы, эти составляющие аддитивны: $q = q_{\text{изл.}} + q_{\text{мол.}} + q_{\text{конв.}} = \text{const}$ (в стационарном случае). В работе была предпринята попытка разделить эти три типа теплопередачи.

Согласно ранее проведенным опытам [2-3], выяснилось, что вермикулит - полупрозрачный материал, определен его $\lambda_{\text{эфф}}$ для разных фракций и температур с учетом ориентации частиц и его изменения после прокаливания при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3 ч, что впоследствии заложило основу для выполнения настоящей работы.

Расчетно-аналитическая часть работы проводилась в среде Matlab и заключалась в усложнении моделей, описывающих распространение тепла внутри них и объясняющих их теплофизические свойства, и изменении граничных условий.

Библиографический список

1. Дубенецкий К.Н., Пожнин А.П. Вермикулит. Стройиздат, Ленинградское отделение, 1971 - 176 с.
2. Скурихин А.В., Костановский А.В. Определение коэффициента поглощения термовермикулита // «Приборы», 2019 № 5 (227).
3. Скурихин А.В., Костановский А.В., Маркелов С.А. Установка для измерения коэффициента теплопроводности сыпучих огнеупоров стационарным методом (на примере вспученного вермикулита) // «Приборы» № 10 (232), 2019.

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

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КОЛЛЕКТОРА ТЕПЛОВОГО НАСОСА

В данной работе произведен сравнительный анализ экономической эффективности первичного контура теплового насоса, при использовании различных видов коллектора. Известно, что цена материала и монтаж коллектора первичного контура составляет 30% от общей стоимости теплонасосной системы теплоснабжения. Использование солнечного коллектора в первом контуре теплового насоса исключает необходимость бурения или подземного монтажа коллектора низкопотенциальной тепловой энергии. Отказ от классических видов коллекторов: горизонтальные коллекторы и вертикальные зонды, оказывает также положительный экологический эффект на почву [1].

С использованием математического метода исследования, исходя из тепловых нужд экспериментального помещения с объемом $V = 300\text{ м}^3$, были получены следующие результаты расчета:

Объем тепловых нужд Q помещения:

$$Q = 1.5 * 300 * 60 = 27 \text{ кВт}$$

Получаемая (необходимая) тепловая мощность коллектора с учетом затрачиваемой энергии на работу компрессора теплового насоса:

$$Q_o = 27 - 7.3 = 19.7 \text{ кВт}$$

Площадь поглощающей поверхности солнечного коллектора

$$S = 7.43 \text{ м}^2$$

Таблица 1 - Анализ стоимости различных видов коллектора теплового насоса

Тип коллектора	Стоимость материала, руб.	Стоимость монтажа, руб.	Общая стоимость, руб.
Горизонтальный	246 250	152 675	398 925
Вертикальный	101 400	600 000	701 400
Солнечный коллектор	120 000	22 500	142 500

Библиографический список

1. Тепловые насосы для дома / Cantor J. / The Crowood Press Ltd, 2013.[1]

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Одним из путей решения проблемы рационального использования ресурсов являются возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика представляет собой одно из перспективных направлений возобновляемой энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения с целью получения энергии для отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования.

Актуальность данной работы заключается в поиске путей повышения эффективности солнечных коллекторов. Основным показателем эффективности использования солнечной энергии является КПД коллектора — это отношение полезного тепла к поступающему на поверхность коллектора.

$$\eta_k = \frac{I_{cp}(t_{к2} - t_{к1})}{I} \quad (1)$$

Повышение эффективности солнечного коллектора может быть обеспечено улучшением теплоизоляции коллекторов, повышением эффективности покрытия, вакуумированием межстекольного пространства, концентрированием энергии, а также с помощью устройства многоступенчатой схемы соединения коллекторов. Количество поглощенного тепла зависит от атмосферных условий, ориентации гелиоприемника, времени суток, степени запыленности поверхности остекления.

Таким образом ряд предложенных мероприятий способствует повышению эффективности работы солнечных коллекторов.

Библиографический список

1. **Даффи Дж., Бекман У.** Основы солнечной теплоэнергетики – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2013.-888 с.

*К.А. Репина, студ.; рук. А.Ю. Костерин, ст. пр.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РОССИИ

Вступивший в действие в 2010 году федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» определил основные направления развития энергосбережения. За прошедшие 10 лет, энергоёмкость ВВП РФ снизилась всего на 9% вместо запланированных 40% к 2020 году, а за последние 4 года энергоёмкость ВВП России вообще не снижалась.

Общий размер инвестиций в энергосбережение и повышение энергетической эффективности явно недостаточен для достижения поставленных целей – в 2018 году он составил 0,2% от совокупного ВРП Российской Федерации. Разброс удельных показателей инвестиционных вложений в энергосбережение среди субъектов РФ достигает почти 300 раз. Важнейшей составляющей в снижении энергоёмкости ВВП РФ является технологический фактор в наиболее энергоёмких секторах экономики: энергетике, обрабатывающей промышленности, транспорте и жилищно-коммунальном хозяйстве.

Из данных государственного доклада [3] следует, что цель по снижению энергоёмкости ВВП Российской Федерации на 60% при сохранении текущих темпов будет достигнута только в 2043 году с существенным отставанием от плана.

В докладе будут рассмотрены состояние и основные проблемы развития энергосбережения в России.

Библиографический список

1. **Федеральный закон** от 11 ноября 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;
2. **Федеральный Закон №399-ФЗ** от 28.12.2013 г. Внесение изменений в Федеральный Закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;
3. **Государственный доклад** о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2018 г, Минэнерго России, Москва, 2019.

СЕКЦИЯ 7

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

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

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

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

ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РОБОТОВ НА ПРИМЕРЕ МЕБЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Несмотря на большое число кружков по робототехнике в России, по реальному применению роботизированных устройств мы значительно уступаем передовым в этой области странам [1]. Это вызвано совокупностью слабого развития разработки собственных роботов и недостаточной информированностью компаний, в которых возможно их применение [2]. Мною в составе одной из команд лаборатории робототехники Молодежного инновационного центра КГЭУ «Энергия» проводится исследование возможности применения роботов (предпочтительно отечественного производства) на малых и средних предприятиях республики Татарстан.

В работе была изучена возможность применения многофункционального промышленного манипулятора Нехарод (производства компании «Эйдос-Робототехника») на предприятиях мебельного производства республики Татарстан. Данный робот может выполнять следующие операции:

- обрезка, нанесение клея, сверление, фрезеровка;
- позиционирование различных предметов;
- резка мягких материалов;
- лазерная гравировка, закалка.

В Казани было найдено 278 компаний, занимающихся продажами мебели. Из них реальным изготовлением мебели занимается менее 100 предприятий. Применение подобного робота в таких компаниях затруднительно из-за высокой цены. В то же время в республике действуют 3 крупных деревообрабатывающих завода: ООО «КАСТАМОНУ ИНТЕГРЕЙТЕД ВУД ИНДАСТРИ», ПАО «Зеленодольский фанерный завод» и ООО «Поволжский фанерно-мебельный комбинат». На базе данных предприятий возможно внедрение манипулятора Нехарод для изготовления МДФ плит и комплектующих, а также сборки готовой мебели.

Библиографический список

1. **Темпы внедрение роботов** [Электронный ресурс] / URL: <https://belfingroup.com/o-belfingrupp/publikaczii/kakovy-tempy-vnedreniya-robotov-v-rossii.html> (дата обращения: 25.01.2020)
2. **В Татарстане на импортозамещение послали роботов** [Электронный ресурс] / URL: <https://m.business-gazeta.ru/article/119910> (дата обращения: 25.01.2020)

*В.Э. Артамонов, А.А. Матвеева, студ., А.П. Шимотюк, студ.;
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА РАБОТЫ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ И УСТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ЭМУЛЯТОРА КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Обмен информацией между устройствами, входящими в состав автоматизированной системы (компьютерами, контроллерами, датчиками, исполнительными устройствами), происходит в общем случае через промышленную сеть, которая является основой для построения распределенных систем сбора данных и управления.

Для обмена информацией взаимодействующие устройства должны иметь одинаковый протокол обмена, т.е. набор правил, который определяет синтаксис и семантику сообщений, операции управления, синхронизацию и состояния при коммуникации.

Обычно сеть использует несколько протоколов, образующих стек связанных коммуникационных протоколов, которые функционируют совместно и используют некоторые или все семь уровней модели OSI.

NetEmul [1] – бесплатная программа эмуляции компьютерных сетей, позволяющая моделировать и настраивать вычислительные сети. Кроме того, NetEmul дает возможность наглядно увидеть происходящие в сети процессы, связанные с передачей информации.

С помощью программы NetEmul построена модель сети, состоящая из нескольких подсетей и вспомогательного сетевого оборудования. Выполнена настройка, моделирование и анализ работы сети, в том числе:

- настройка компьютеров, коммутаторов и маршрутизаторов;
- формирование и отправка пакетов IP с помощью конструктора пакетов;
- моделирование механизма работы транспортного протокола TCP через установление сетевого соединения («тройное рукопожатие»), отправку пакетов и завершение соединения;
- анализ сетевого взаимодействия устройств на канальном, сетевом и транспортном уровнях с помощью журнала работы устройств.

Результаты работы планируется использовать в учебном процессе кафедры АТП ИГЭУ при изучении студентами компьютерных и сетевых технологий в задачах автоматизации технологических процессов.

Библиографический список

1. Сайт разработчиков программы NetEmul [Электронный ресурс] / URL: <http://netemul.sourceforge.net>

И.И. Волков, студ., В.А. Леднев, студ., А.А. Матвеева, студ.;
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОГО ИСЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Операционное исчисление, как метод прикладного математического анализа, позволяет с помощью простых средств получать решения линейных дифференциальных уравнений.

Операционное исчисление нашло широкое применение в теории автоматического управления, где с его помощью производится анализ процессов в автоматических системах регулирования.

Передаточная функция замкнутой системы регулирования (рис.1):

$$W_{\text{замкн}}(s) = \frac{W_p(s) \cdot W_o(s)}{1 + W_p(s) \cdot W_o(s)},$$

где $W_p(s)$ - передаточная функция регулятора;

$W_o(s)$ - передаточная функция объекта управления.

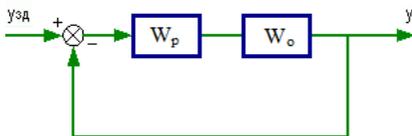


Рисунок 1 – Одноконтурная система регулирования

Составлены учебные примеры, в которых для различных типов регуляторов (пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегральный) и объектов управления (апериодическое звено, интегрирующее звено), требуется:

- определить передаточную функцию системы; с использованием второй теоремы разложения найти решение для переходного процесса $y(t)$ в системе при воздействии заданием $u_{зд}(t)=1(t)$;
- проанализировать корни характеристического уравнения системы и вид переходного процесса с точки зрения устойчивости.

Примеры планируется использовать в учебном процессе кафедры АТП ИГЭУ при изучении студентами операционного исчисления в приложении к задачам автоматического регулирования.

Библиографический список

1. Ротач, Виталий Яковлевич. Теория автоматического управления: учебник для студентов вузов / В. Я. Ротач. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 394 с.

О.Н. Галанова, студ., О.М. Легостаева, студ.;
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПО ОТКАЗАМ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС

Актуальной задачей в настоящее время является оценка технического состояния, уровня эксплуатации, аварийности оборудования ТЭС с целью принятия решений по повышению (сохранению) его надежности на основе информационных систем по формированию базы данных надежности оборудования ТЭС [1].

На основе методологии IDEF1X разработан учебный пример с реляционной базой данных по отказам основного оборудования ТЭС (рис. 1).

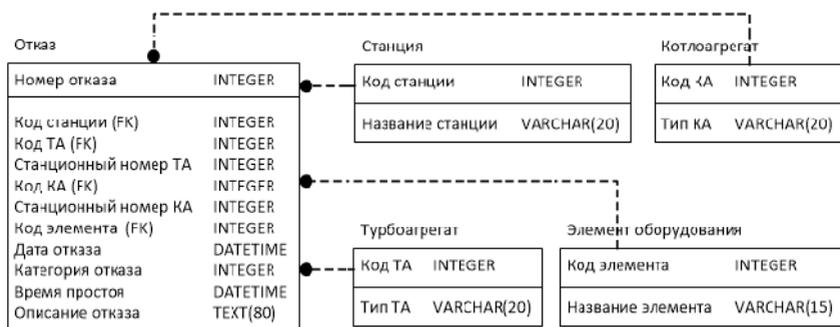


Рисунок 1 – Модель базы данных в нотации IDEF1X

База данных реализована в СУБД Microsoft Access; в качестве данных использовалась исходная таблица с отказами, приведенная в [1]. СУБД позволяет:

- просматривать, сортировать, редактировать и вносить новые записи базы данных;
- формировать запросы об отказах оборудования ТЭС (по видам отказов и элементам оборудования, за выбранный период и т.д.).

Результаты работы планируется использовать в учебном процессе кафедры АТП ИГЭУ при изучении студентами компьютерных, сетевых и информационных технологий в теплоэнергетике.

Библиографический список

1. Карницкий Н.Б. К вопросу создания информационной базы данных по надежности основного оборудования ТЭС / Н.Б. Карницкий, А.Л. Буров, Е.Г. Веремейчик, А.В. Карпук // Наука и техника. 2012. № 4. с. 73-80.

*А.Л. Демидов, маг.; рук. А.Ю. Рябчиков, д.т.н., проф.
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИСОСОВ ВОЗДУХА В ВАКУУМНУЮ СИСТЕМУ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Присутствие неконденсирующихся газов в конденсаторе паровых турбин приводит к ухудшению их функционирования, повышению давления, а, следовательно, к понижению экономичности турбоустановки. Для удаления воздуха, традиционно применяются пароструйные эжекторы [1].

В работе рассмотрены устройства для определения и нормирования количества присасываемого воздуха. Существующие устройства имеют ограничения по измерению расхода, а также отсутствует на ТЭС автоматизация таких измерений и передача данных в АСУТП.

Разработано расходомерное устройство УрФУ, которое позволяет проводить измерения расхода присасываемого воздуха до 200 кг/ч. В этом устройстве применяется преобразователь давления измерительный СДВ-И-0,01; этот датчик передает токовый сигнал 4-20 мА на контроллер, после сигнал обрабатывается на контроллере по формуле[2], приведенной ниже, для расчета расхода паровоздушной смеси.

$$G_B = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\Delta p \cdot \rho_{см}} \cdot \varepsilon_B$$

где α – коэффициент расхода;

β – поправочный множитель на расширение измеряемой среды;

Δp – измеряемый перепад давления на расходомере, Па;

$\rho_{см}$ – плотность паровоздушной смеси, кг/м³;

d – диаметр расходомерной шайбы, м;

ε_B – коэффициент, учитывающий весовое содержание воздуха в смеси.

Также проведена тарировка расходомерного устройства при испытаниях эжектора по методике [3]. На основе испытаний проведена верификация с результатами расчетов.

Данное устройство успешно реализовано в АСУТП энергоблока 200 МВт на Сургутской ГРЭС-1.

Библиографический список

1. **Эжекторы конденсационных установок паровых турбин**: учебное пособие / К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, Д.В. Брезгин, И.Б. Мурманский. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 131 с.
2. **РД 34.30.302-87** «Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами»
3. **РД 34.30.302-87** «Методические указания по наладке и эксплуатации пароструйных эжекторов конденсационных установок турбин ТЭС и АЭС»

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

РЕШЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ В PASCAL

Расчетно-графическая работа (РГР) – 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 РГР по дисциплине «Метрологическое обеспечение, технические измерения и автоматизация тепловых процессов», состоящая в обработке результатов измерений с многократными наблюдениями.

Целью научной работы является создание работающей программы, которая при минимальном человеческом вмешательстве рассчитывает РГР. Выбор для достижения цели языка программирования Pascal обусловлен наибольшим количеством времени его изучения. Pascal – один из наиболее известных языков программирования, используется для обучения программированию в старших классах и на первых курсах вузов, является основой для ряда других языков.

Изначально вводятся необходимые данные о приборе и результаты многократных измерений, заданные в условии РГР. Сортируются в порядке возрастания для наглядности и удобства. Программа реализует расчет среднего арифметического значения и средних квадратичных отклонений. Проверяется гипотеза о нормальности распределения. Исключаются промахи по правилу «трех сигм». Если есть промахи, то пересчитываются среднее арифметическое значение и средние квадратичные отклонения без них. Находятся погрешности измерений. Суммируются полученные погрешности. В итоге приходим к результату, состоящему в правильном округлении среднего арифметического значения ряда и полученной погрешности.

Недостатком программы является неполная автоматизация, что обуславливается ручным вводом некоторых данных.

Библиографический список

1. **Тетеревков, Илья Владимирович.** Основы алгоритмизации и программирования: учебное пособие / И.В. Тетеревков, Е.К. Торопова; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново: Б.и., 2017. – 204 с.

2. **Сергеев, Алексей Георгиевич.** Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для бакалавров / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2014. – 838 с.

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

РЕАЛИЗАЦИЯ КАНАЛОВ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ В TRACE MODE

В работе показаны результаты исследования особенностей реализации модели фильтрации в SCADA Trace Mode, элементами которой выступают белый шум, наложенный на тестовый синусоидальный сигнал, поданные в измерительный канал, и фильтр экспоненциального сглаживания. Также выполнена оценка качества результата. Актуально решение такой задачи для любого контроллера, т.к. экономит объем его памяти и уменьшает время цикла выполнения программы для информационных каналов, не используемых в задачах управления, а только для формирования рабочих интерфейсов операторов при отображении на них измеренных аналоговых параметров [1, 2].

Проведены несколько серий опытов, которые показали, что характер сигналов меняется: вносится существенная задержка, т.к. использован простой метод фильтрации. Использование более сложных методов может вносить ещё большую инерционность, что нужно учитывать при формировании рабочих интерфейсов.

Результаты опытов по оценке влияния параметра фильтра: 0,2 – плохой результат, т.к. почти нет фильтрации; 0,4 – видна фильтрация, но это не желаемый результат; 0,6 – неплохой результат, т.к. фильтрованный сигнал выглядит более сглаженным и схожим с тестом; 0,8 – ухудшение результата, т.к. фильтрованный сигнал запаздывает. Дальнейшее увеличение коэффициента не имеет смысла. В итоге он не должен выходить за диапазон 0,65...0,75.

Таким образом, в ходе исследования получен опыт реализации и сделаны выводы о применимости фильтров в каналах формирования параметров на мнемосхемах операторов с учетом качества результатов фильтрации при известных параметрах шума и тестового сигнала.

Библиографический список

1. Демин А.М., Таланов В.Д. Основы проектирования систем автоматизации в теплоэнергетике: учеб. пособие / ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". – Иваново, 2012. – 164 с.
2. Пушков В.М. Устройство программного управления TREI-5B-05 ECO: учеб. пособие. / ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". – Иваново, 2018. – 120 с.

В.А. Леднев, студ., А.П. Шимотюк, студ., И.И. Волков, студ.;
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Гармонический анализ используется для изучения свойств функций путем представления их в виде рядов или интегралов Фурье.

Спектральный анализ, математической основой которого является преобразование Фурье, позволяет оценить частотные свойства функций.

Спектральный гармонический анализ нашел широкое применение в теории автоматического управления, где с его помощью производится анализ процессов в автоматических системах регулирования.

Для математического описания линейной динамической системы используется амплитудно-фазовая характеристика (АФХ). Модуль АФХ характеризует изменение амплитуды гармонического сигнала при прохождении последнего через систему, а ее аргумент – фазовый сдвиг сигнала.

Составлены учебные примеры, в которых задано последовательное соединение типовых звеньев и известны их передаточные функции. Используя АФХ звеньев, требуется определить и изобразить сигнал на выходе $y(t)$, если на вход подается воздействие вида $x(t)=A \cdot \sin(\omega t)$ (рис.1).

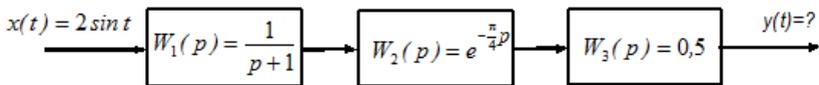


Рисунок 1 – Пример соединения звеньев

Примеры планируется использовать в учебном процессе кафедры АТП ИГЭУ при изучении студентами спектрального гармонического анализа и преобразования Фурье в приложении к задачам автоматического регулирования.

Библиографический список

1. Ротач, Виталий Яковлевич. Теория автоматического управления: учебник для студентов вузов / В. Я. Ротач. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 394 с.

*И.С. Малышев, маг.; рук. А.В. Кондрашин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ЗАДАЧЕ НАСТРОЙКИ НЕЙРОСЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА

В последнее время всё большую популярность имеет применение искусственных нейронных сетей (ИНС) в различных областях деятельности. Обуславливается это тем, что данная структура легко масштабируется и вычисляется, но, при этом, позволяет описывать сложные модели данных, будь то, модель управления, динамическая или статистическая модель, классификатор данных и многие другие.

В работе в качестве автоматического регулятора рассматривается многослойный персептрон. Однако при его обучении классическим алгоритмом обратного распространения ошибки возникает ряд проблем, а именно:

1. Невозможность найти ошибку выхода нейросети. При её замене ошибкой управления отсутствует возможность оценки частной производной выхода объекта по синапсическим коэффициентам.

2. Специфика динамической системы приводит к коррелированности оценок производных.

Для решения данных проблем предложен следующий метод параметрической настройки весов.

По априорной информации о свойстве системы и действующих в ней случайных возмущений находится эквивалентная модель системы, допускающая явное вычисление дисперсии ошибки управления (ошибки нейросетевого управления). В качестве алгоритма оптимизации выбран генетический алгоритм [1].

В работе учитывается ряд особенностей, характерных для предлагаемого метода. Во-первых, предложено решение, устраняющее эффект нелинейности функций активации нейросети. Для этого используется тестовое воздействие на нейросеть с дальнейшей аппроксимацией выходного сигнала линейным звеном [2]. Во-вторых, в системах с запаздыванием используется его разложение в ряд Паде.

Библиографический список

1. **Дэн Саймон.** Алгоритмы эволюционной оптимизации / пер. с англ. А. В. Логунова. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 940 с.
2. **Эйкхофф П.** Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / пер. с английского. – М.: Мир, 1975 – 687 с.

*О.Д. Мишина, маг.; рук. О.В. Блинов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ (ЗАКОНОВ) УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ С ПОМОЩЬЮ СРЕДЫ CODESYS И VISSIM

Исследование алгоритмов (законов) управления теплоэнергетическими процессами в системах с большим запаздыванием и нелинейностью является актуальной задачей, т.к. на практике такие системы встречаются довольно часто, при этом, применение в них стандартных ПИД-законов регулирования является проблематичным вследствие сложности настройки таких регуляторов. Целью нашей работы является разработка инструментальной базы для исследования таких систем и алгоритмов управления ими.

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:

1. 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;
2. Учебные цели и проекты по направлениям подготовки, связанным с автоматизацией производства.

Библиографический список

1. Рыбалев А.Н., Николаец Ф.А. Разработка и эмулирование АСУ ТП с использованием программ разных производителей и типов // Вестник АмГУ. – 2014. – Вып. 65. – С.73-82.
2. VisSim в России [Электронный ресурс] / URL: <http://vissim.nm.ru>
3. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3 [Электронный ресурс] / URL: http://www.kipshop.ru/CoDeSys/steps/codesys_v23_ru.pdf

*Р.М. Муратов, студ.; рук. А.Н. Богданов, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТА КУКА И БЛОКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Многие предприятия республики Татарстан, такие как ПАО «КА-МАЗ», ААК «Прогресс» и АО «КМПО», применяют роботов на заводах, так как это способствует росту прибыли. У роботов большая продолжительность жизненного цикла, высокая производительность и относительно небольшие энергозатраты. Но, в большинстве случаев, они ограничены малым радиусом действий.

В данной статье будет рассмотрен робот КУКА серии KR 30 [1], предназначенный для перемещения груза. Особенностью данного робота является то, что за кратчайшую продолжительность циклов он обеспечивает максимальное качество. В связи с этим шестиосевой робот идеально подходит для таких областей применения, как манипулирование деталями, замер деталей и использование лазерных технологий.

Радиус действий робота 2-3 метра, но в некоторых случаях необходимо, чтобы робот мог замерить большую площадь, чем позволяют его характеристики. Для выполнения такой задачи понадобится несколько подобных роботов, связанных общей программой, или особая система, которая бы имела достаточно большие размеры.

Для решения этой проблемы можно воспользоваться блоком линейных перемещений серии KL1000-2 с грузоподъемностью до 1000 кг [2], разработанный для роботов КУКА серии KR 30. На данном блоке может быть расположено до 4 роботов, а максимальный номинальный ход по прямой линии 30,2 метра позволяет расширить возможности робота данной серии.

Если блок линейных перемещений будет совместим со многими различными типами роботов, то в будущем такой способ перемещения позволит повысить эффективность промышленных роботизированных систем.

Библиографический список

1. URL: <https://www.kuka.com/ru-ru/продукция-услуги/промышленная-робототехника/промышленные-роботы/kr-30>
2. URL: <https://www.kuka.com/ru-ru/продукция-услуги/промышленная-робототехника/периферийное-оборудование-робота/линейные-блоки/kl-1000-2>

*Е.Р. Рамазанова, маг.; рук. А.М. Демин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АЭРОСМЕСИ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ МЕЛЬНИЦЫ

В работе показаны результаты анализа систем регулирования температуры аэросмеси углеразомольных мельниц и разработки инновационного способа управления в аварийном режиме работы с применением современных микропроцессорных средств управления [1, 2].

Целью работы является повышение точности управления на границе перехода при выходе из аварийного режима после превышения температуры аэросмеси выше допустимой в регулировочный путем формирования дополнительного переходного режима работы системы с дальнейшим переводом из него в регулировочный или возвратом обратно в аварийный по условиям работы системы регулирования на границе перехода.

После перехода в аварийный режим с дополнительной присадкой холодного воздуха возвращение в нормальный режим выполняется согласованно по нескольким критериям: контроля состояния ключей МЭО (логика), величины температуры (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. Величины заданий регуляторов и блока сравнения вместе с задержкой таймера позволяют отстроиться от колебаний температуры на границе перехода и сформировать требуемые свойства объекта управления. Техническим результатом применения системы является обеспечение точности управления на границе переходов при регулировании сушильного режима углеразомольной мельницы воздействием на заслонки регулирования расходов горячего, слабоподогретого и холодного воздуха для взрывоопасного топлива.

Поставлена задача разработки алгоритма для реализации системы на учебном стенде с последующим синтезом методики ее наладки.

Библиографический список

1. Демин А.М., Плетников С.Б. Автоматизация котельного оборудования тепловых электростанций: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново: 2013. – С. 143, 151.
2. Демин А.М., Таланов В.Д. Система регулирования температуры аэросмеси углеразомольной мельницы. – Патент РФ № 2606083 от 10.01.2017.

Ю.С. Руденко, маг.; рук. В.Г. Рябцев, проф.
(ВОЛГАУ, г. Волгоград)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПТИЧЬЕГО ПОМЁТА В ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ

Основной целью нашей работы является решение, в рамках создания малоотходной технологии, наиболее эффективного способа переработки (утилизации) отходов птицеводства (сырого птичьего помета) в высококачественные органические и органоминеральные удобрения [1].

Для описания системы была рассмотрена информационная модель функционирования системы по производству органических удобрений (Рис.1). Такая система обычно имеет i входных и j выходных процессов. Часть входных процессов является управляющими и определяется вектором $V(b_1, b_2, \dots, b_n)$, включающим объёмы работ в заданных технологических параметрах и фактором $X(x_1, x_2, \dots, x_p)$, представляющим набор технологических систем и агрегатов.

Другая часть входных воздействий $E(e_1, e_2, \dots, e_m)$ является неуправляемой помехой и характеризует зональные природно-климатические условия; такая помеха оказывает влияние на выходные характеристики системы. Выходные характеристики системы определяются n -мерным вектором $B(b_1, b_2, \dots, b_n)$, представляющим объём выполненных технологических операций в оптимальные сроки.

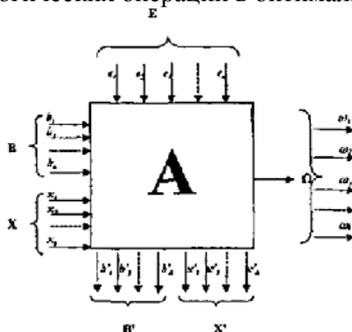


Рисунок 1 – Информационная модель функционирования системы по производству органических удобрений

Библиографический список

1. Щеткин Б.Н. Методология экологически безопасной переработки птичьего помета в органические удобрения и создания устройств оценки качества и несения в почву при возделывании сельскохозяйственных культур: автореф. дис. канд. тех. наук. Санкт-Петербург-Пушкин, 2004, 36 с.

СЕКЦИЯ 8

ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ

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

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

*А.Д. Водениктов, соиск., А.А. Гаевая, студ.;
рук. А.И. Минибаев, асс. (КГЭУ, г. Казань)*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕАЭРАЦИИ ОСНОВНОГО КОНДЕНСАТА В КОНДЕНСАТОРАХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Конденсатор паровой турбины используется для отработавшего пара, обеспечивая высокий термический КПД паротурбинной установки. Существующие конденсаторы поддерживают глубокий вакуум (до 97%), обеспечивают рост располагаемого теплоперепада, увеличивая мощности и экономичность. [1]

Одним из показателей, характеризующим эффективность работы конденсатора, является концентрация кислорода в основном конденсате. Показатель регламентирован правилами технической эксплуатации – не более 20 мкг/л. [2] В ходе анализа работы электростанций, было выявлено, что оперативный персонал часто сталкивается с превышением концентрации растворенного кислорода в основном конденсате. Это чревато ростом скорости коррозии тракта регенерации низкого давления и выходом оборудования из строя.

Все вышеперечисленное говорит о том, что снижение концентрации кислорода является актуальной задачей.

Для борьбы с повышением содержания кислорода существует широкий спектр как традиционных, так и конструкторских мер. Одним из таких решений, является использование деаэрирующих конденсатосборников. Конструкторское исполнение и принцип их работы весьма вариативны, но, в большинстве случаев, предлагаемые решения объединяет сложность в изготовлении и обслуживании.

Авторами предлагается использование деаэрирующей вставки в конденсатор паровой турбины для снижения концентрации растворенного кислорода. Было проведено испытание модернизированного конденсатосборника, в ходе которого отмечено снижение концентрации кислорода, в среднем, в 2 раза. Предлагаемую конструкцию возможно использовать для различных паровых турбин, как отечественных, так и зарубежных производителей.

Однако, в настоящее время вопрос об оптимальном режиме работы и конструкторском исполнении парораспределительного коллектора остается открытым.

Библиографический список

1. **Бродов Ю.М., Савельев Р.З.** Конденсационные установки паровых турбин. Учебн. пособие для вузов, М.: Энергоатомиздат, 1994. 288с. ил. ISBN 5-283-00162-8
2. **Лосев С.М.** Паровые турбины. 9. М.: Госстройиздат, 1959. 384 с.

*П.М. Нестеров, студент; рук. О.М. Митрохова, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

ПАРОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА, РАБОТАЮЩАЯ НА ТВЕРДОМ БИОТОПЛИВЕ

Утилизация отходов деревообрабатывающей промышленности Российской Федерации, которые оставляют примерно от 25...40% отходного сырья, является одной из важных проблем. Очевидно, что указанное отходное сырье может быть использовано для получения биотоплива.

С точки зрения энергоэффективности использования биотоплива применение парогазовых технологий представляется наиболее перспективным направлением. Однако, основным ограничением при создании ПГУ утилизационного типа, работающей на твердом биотопливе, является газотурбинная установка (ГТУ).

К настоящему времени освоено несколько основных направлений, позволяющих использовать твердое топливо в ГТУ, но они приводят к существенному снижению КПД. Альтернативный вариант – это применение выносной камеры сгорания и сепараторов инерционного типа для снижения концентрации твердых частиц. При этом нужно обеспечить эксплуатационную надежность проточной части газовой турбины (ГТ), то есть провести оптимизацию лопаточного аппарата путем выбора рациональной формы его профиля.

Не смотря на то, что мощность паросиловой установки, входящей в состав ПГУ составляет 1/3 часть от мощности ПГУ [1], так же необходима и её оптимизация. Поэтому была разработана паровая турбина, которая является достаточно компактной одноцилиндровой машиной с

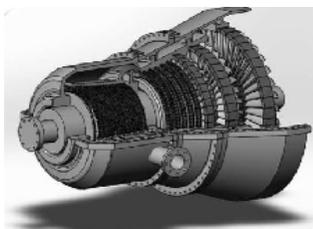


Рис. 1. Паровая турбина с осевым выходом

осевым выходом в конденсатор. Применение осевого выхода для однопоточных турбин небольшой мощности позволяет снизить абсолютное давление в конденсаторе, увеличить располагаемый теплотерепад части низкого давления и общую экономичность турбины. Осевое расположение конденсатора позволяет разместить все оборудование ПГУ на нулевой отметки машинного зала.

Библиографический список

1. А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний. Паровые и газовые турбины для электростанций. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 556 с.

*Я.С. Тимшина, асп.; А.А. Ухлин, асп.;
рук. В.И. Брезгин, д.т.н., проф. (УрФУ, г. Екатеринбург)*

ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОСЕВОГО ВЫХЛОПА В ПАРОВЫХ ТУРБИНАХ

Актуальной проблемой отечественной энергетики является повышение экономичности и надежности энергетического оборудования, а также сокращение сроков производства основных деталей и узлов. Одним из перспективных направлений является создание турбин модульного типа, в конструкцию которых будут заложены серийные компоненты-модули, оптимальный выбор и сочетание которых позволят достичь требуемых характеристик турбины и обеспечить повышенную надежность в эксплуатации[1].

Одним из примеров таких решений является паровая одноцилиндровая турбина, мощностью до 100 МВт, предназначенная для работы как в составе заводов по утилизации твердых коммунальных отходов, так и в цикле парогазовой (ПГУ) или паросиловой (ПСУ) установки. Ключевой особенностью данной турбины является конструкция части низкого давления, а именно – выхлопной патрубком имеет осевое исполнение. Такие турбины могут работать, как вместе с воздушной конденсационной установкой (ВКУ), так и в комплексе с конденсатором водяного охлаждения. При комплектации турбоустановки ВКУ эксплуатация осложнена работой при ухудшенном вакууме, как на пусковых режимах, так и при длительной эксплуатации. Данный фактор требует внимательного рассмотрения конструкции применяемых рабочих лопаток последней ступени, глубокого анализа всего спектра режимов работы турбоустановки и внесения необходимых изменений и требований к эксплуатации для обеспечения надежности и экономичности. Полученные результаты расчетов и рекомендации по работе турбины с ВКУ в последующем возможны к распространению на рабочие лопатки последних ступеней турбин как большей, так и меньшей мощности, при конструкции с осевым выхлопом [2].

Библиографический список

1. Валамин А.Е. Опыт разработки проектов паровых турбин с использованием унифицированных модулей / А.Е. Валамин, А.Ю. Култышев, М.Ю. Степанов // Теплоэнергетика. – 2004. – №12. – С.12-15.
2. Степанов М.Ю. Одноцилиндровая паровая турбина мощностью до 100 МВт с осевым выхлопным патрубком / М.Ю. Степанов, Т.Л. Шибяев, А.А. Ямалтдинов // Электрические станции. – 2019. – №4. – С.9-14.

*А.А. Ухлин, асп.; Я.С. Тимшина, асп.;
рук. В.И. Брезгин, д.т.н., проф. (УрФУ, г. Екатеринбург)*

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
РЕАКТИВНОГО ОБЛОПАЧИВАНИЯ
С ПЕРЕМЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ РЕАКТИВНОСТИ
В ЦИЛИНДРАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВЫХ
ТУРБИН**

В настоящее время мировой рынок производства паровых турбин показывает крайнее низкие темпы роста по миру, в связи с активным внедрением эффективных технологий возобновляемых источников энергии и распределённой энергетики. Это обуславливает жёсткие условия конкуренции среди производителей. Основным критерием является эффективность.

Одним из способов совершенствования проточной части является применение реактивного облопачивания. Однако ведущие концерны турбиностроения (GE, Siemens) не всегда используют данную технологию в цилиндре высокого давления [1].

В рамках работы по повышению эффективности паровых турбин производства АО «УТЗ» с помощью средств математического моделирования пакетов CREO Parametric и ANSYS была проведена оценка применения лопаток со степенью реактивности 35-50% в ЦВД турбин Т-100-12,8 и К-300-29,4. Для обеспечения данной степени реактивности, используется трёхмерное моделирование, которое также снижает потери связанные с несовершенством профиля (на трение по причине пограничного слоя, потери из-за входного угла, кромочные потери) и с выходной скоростью.

В связи с изменением степени реактивности, произошло изменение количества ступеней в цилиндрах для обеспечения срабатывания той же величины теплоперепада. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

№	Наименование паровой турбины	Число дополнительных ступеней, шт.	Прирост КПД, %	Прирост мощности, МВт
1	Т-100-130	5	2,1	1,0
2	К-300-23,5	6	3,4	4,1

Таким образом, предварительная оценка показала обоснованную эффективность применения реактивного облопачивания в цилиндрах высокого давления паровых турбин.

Библиографический список

1. Черников В. А., Семкина Е. Ю. Особенности структуры течения в ступени турбины реактивного типа // М.: Теплоэнергетика - 2017 - №4.-с.288-294

*Д.И. Менделеев, маш-обх. ПГУ; Г.Е.Марьин, ст. маш. ПГУ
рук. Ю.Я. Галицкий, к.т.н, доцент
(АО «Татэнерго» КТЭЦ-2, КГЭУ, г. Казань)*

К ВОПРОСУ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В КОМПРЕССОР ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Газовая турбина является реактивным двигателем, в связи с этим на производительность компрессора напрямую влияют давление и температура окружающего воздуха. Изменения климатических условий в основном влияют на мощностные характеристики газовой турбины. Для каждой турбины температура окружающего воздуха влияет по-разному, так как зависит от параметров цикла, КПД компонентов, а также массового расхода воздуха.

Основной проблемой газовых турбин при повышении температуры окружающего воздуха выше 15 °С является резкое снижение полезной (отдаваемой) мощности. Влияние температуры окружающего воздуха можно минимизировать установкой абсорбционно-холодильной машины (АБХМ) или испарительного охладителя. Испарительную установку следует применять только после установки дополнительных влагоудалителей и секции дополнительных коалесцирующих фильтров, что позволит исключить переноса влаги в проточную часть. Применение АБХМ возможно с частичным подмесом холодного воздуха с основным потоком, при этом модернизация силовой части установки не нужна. [1,2]

В работе рассмотрено влияние АБХМ на работу газовой турбины GE PG111 6FA. Для исследований создана математическая модель данной турбины.

Применение АБХМ в составе энергоблока ГТУ дает прирост мощности в период повышения температуры окружающего воздуха, что позволяет снизить влияние окружающих условий на работу установки.

Библиографический список

- 1. D I Mendeleev et al**, Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine. 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 643 012099 DOI:10.1088/1757-899X/643/1/012099.
- 2. Клименко В.В., Федотова Е.В., Терешин А.Г.** Уязвимость российской энергетики к изменению климата // Энергетика. 2018. Т. 142. С. 1010-1022

*Г.Е.Марьин, ст. маш. ПГУ; Д.И. Менделеев, маш-обх. ПГУ
рук. Б.М. Осипов, к.т.н., проф.
(АО «Татэнерго» КТЭЦ-2, КГЭУ, г. Казань)*

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ТОПЛИВНОГО ГАЗА НА РАБОТУ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Газовые турбины часто используются в сочетании с паровым циклом, поэтому это накладывает определенные ограничения на температуру отработавших газов. В зависимости от типа паровой турбины необходимо поддерживать температуру отработавших газов в определенном диапазоне. Так как местоположение ТЭС может различаться, то и вид использованного топлива, а, следовательно, и сам состав топливного газа может существенно отличаться. Основным видом топлива для газовых турбин является природный газ, но в качестве резервного или для кратковременной работы может использоваться и жидкое топливо. Работа газовой турбины очень чувствительна к изменению химического состава топливного газа, так как используемое топливо оказывает влияние не только на технологический процесс получения электроэнергии, но и на конструкцию топливной системы ГТУ. [1,2]

В работе рассмотрено влияние различных составов топлива на энергетические и экономические характеристики ГТУ. В качестве исследуемой установки выбрана газовая турбина фирмы GE PG111 6FA, входящей в энергоблок ПГУ-110 МВт. Для исследований создана математическая модель газовой турбины в автоматизированной системе «ГРЭТ». Определение основных характеристик газовой турбины (эффективного КПД ГТУ, расхода топливного газа, количества CO₂, NO_x, O₂ в составе продуктов сгорания) проводились при нагрузке 77МВт, давлении воздуха 101.3 кПа, температуре окружающего воздуха 15 °С.

Библиографический список

1. **G. E. Marin, D. I. Mendeleev and A. R. Akhmetshin**, "Analysis of Changes in the Thermophysical Parameters of the Gas Turbine Unit Working Fluid Depending on the Fuel Gas Composition," 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1-4. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934021
2. **Zheng L. K.**, Ling C. X., Ubogu E. A., Cronly J., Ahmed I., Zhang Y., Khandelwal B. Effects of Alternative Fuel Properties on Particulate Produced in a Gas Turbine Combustor // Energy & Fuels. – 2018. – Т. 32, № 9. – С. 9883-9897.

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

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВЫХ И ГАЗОВЫХ ТУРБИН

В классической теории турбомашин [1] потери в турбинных решетках разделяют на профильные связанные с трением вязкого потока пара о лопатки, и концевые потери, связанные с вихреобразованием в проточной части турбинных решеток. Концевые потери в турбинной ступени составляют $3\div 8\%$ и напрямую зависят от длин лопаток в турбинных решетках. По этой причине проблеме снижения концевых потерь должно уделяться особое внимание.

Причиной возникновения концевых потерь является повышенное вихреобразование при течении в поворотном канале лопаток. В результате такого течения со стороны спинки лопатки могут развиваться срывные течения, ведущие к заметному росту потерь.

Одним из наиболее эффективных способов снижения концевых потерь, может быть использование специальных направляющих ребер на ограничивающих стенках решеток, на хвостовиках, бандажах лопаток.

Система оребрения работает следующим образом: при течении среды по криволинейному межлопаточному каналу турбинной решетки, в результате неравенства сил (центробежных и сил давления) действующих на частицы рабочей среды в пограничном слое у ограничивающих полок возникает поперечное движение от области вогнутой части лопатки одной лопатки к выпуклой другой. Данное вторичное течение встречает сопротивление в виде стенки клиновидного ребра, которое ввиду малой толщины не оказывает тормозящего действия на ядро потока. Основное течение взаимодействует по свободному ребру клина с вторичным течением, увлекая за собой частицы рабочей среды из пограничного слоя. Тем самым нарушается дальнейшее поперечное паразитное течение и возникновение парных вихрей.

Применение спрофилированных ребер привело к снижению среднего значения коэффициента потерь для рассматриваемых решеток на 0.6% по сравнению с турбинной решеткой без системы оребрения.

Библиографический список

1. Дейч М.Е. Газодинамика решеток турбомашин. М.: Энергоатомиздат, 1996. 528с.

*Е.О.Коротов, маг.; рук. А.Л.Виноградов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОПРАВОЧНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ К ТИПОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБОАГРЕГАТА ПТ-65-130 НА ПИТАНИЕ ДЕАЭРАТОРА ОТ КОЛЛЕКТОРА СОБСТВЕННЫХ НУЖД

Перевод деаэратора на отбор пара из коллектора собственных нужд связан с упрощением его эксплуатации, а также с дешевизной применения данной схемы, т.к. давление в КСН постоянно в процессе работы, а регулировать необходимо лишь количество подаваемого пара с помощью регулирующего клапана.

В связи с целесообразностью применения данной схемы подключения и отсутствия к ней поправок от завода изготовителя. Мною были проведены расчеты данных поправок для питания деаэратора от КСН.

Расчет выполнен методом энергетических коэффициентов. Методика расчета принята в соответствии с рекомендациями М.И. Щепельникова. [1]

Знание величины данных коэффициентов позволяет любое изменение расхода тепла в каком-либо элементе тепловой схемы, покрываемое отбором пара из турбоагрегата, пересчитать на тепло свежего пара и, таким образом, непосредственно найти изменение экономичности установки при изменении тепловой схемы или эксплуатационного режима.

Расчеты показали, что расчетные значения поправок составили:

- до 17 т/ч (по абсолютной величине) для расхода свежего пара, что составляет 4,3% от максимального расход свежего пара;
- до 220 ккал/кВт ч для удельного расхода тепла брутто на выработку электроэнергии.

Пренебрежение указанными поправками при расчете номинальных технико-экономических показателей ТЭЦ может привести к существенному их искажению относительно фактических значений.

Библиографический список

1. **Рубинштейн Я.М.** Исследование реальных тепловых схем ТЭС АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1982. 272с.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГТД-110 ПРИ РАБОТЕ АБСОРБЦИОННОЙ БРОМИСТОЛИТИЕВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ (АБХМ)

АБХМ- это абсорбционная холодильная установка (чиллер), работающая за счет тепловой энергии, а не электричества. Источником тепловой энергии может служить горячая вода, выхлопные газы, пар, природный газ и другие виды топлива^[1].

Принцип действия абсорбционной холодильной машины основан на определенных свойствах хладагента и абсорбента, которые обеспечивают отвод тепла, охлаждение и поддержание необходимого температурного режима^[1].

можно оценить величину охлаждения воздуха при включении АБХМ как:

$$Q = G_v \cdot c_{p,v} \cdot (t_{в}^{\text{до АБХМ}} - t_{в}^{\text{за АБХМ}}) \text{ кДж/с,}$$

где:

G_v – расход воздуха, кг/с;

$t_{в}^{\text{до АБХМ}}$, $t_{в}^{\text{за АБХМ}}$ – соответственно температуры воздуха до и за включение АБХМ, °С;

$c_{p,v}$ – изобарная теплоемкость воздуха, кДж/кг °С.

С помощью этого значения можно выбрать модель АБХМ.

АБХМ Thermax на выхлопных газах используют бросовое тепло в виде выхлопных газов газопоршневых установок (ГПУ), турбин (ГТУ), а также дымовые газы от технологических процессов^[1].

Двухступенчатая АБХМ на сжигании топлива оснащена горелкой, которая является частью высокотемпературного генератора. В качестве источника тепла для работы АБХМ в горелке могут сжигаться различные виды жидкого или газообразного топлива^[1].

Компания Thermax предлагает ряд АБХМ, работающих на насыщенном водяном паре с давлением от 0 до 26 кг/см². В зависимости от температуры источника тепла АБХМ на водяном паре подразделяются на одно-, двух- и трехступенчатые АБХМ. Источником тепла для АБХМ на водяном паре могут быть: пар из бойлера, пар от технологических процессов, пар из парогенераторных установок (ТЕЦ) и др.^[1].

Библиографический список

1. <https://abxm-thermax.ru/abxm/>

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

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ТУРБИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЕЁ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В настоящий момент цикл Родни Аллама является самым перспективным в направлении максимального снижения выбросов в атмосферу парниковых газов. Данный цикл является замкнутым и имеет достаточно высокие параметры на входе в турбину : давление и температура на входе около 300 бар и 1150 °С соответственно. В качестве рабочей тела используется диоксид углерода (95-97 %).

Особенность турбины, использующей в качестве рабочей среды – диоксид углерода заключается в том, что высокие давления рабочей среды свойственны паровым турбинам, а высокие температуры в газотурбинных установках.

Основываясь на данных особенностях турбины, необходимо разработать метод её проектирования. Начальным этапом проектирования, является предварительный расчет проточной части.

На этапе предварительного расчета стоит выбор формы проточной части турбины. Так как начальные параметры рабочего тела в разрабатываемой турбине: давление и температура, не освоены ни в паро -, ни в газотурбостроении. Это создает некую проблему потому, что именно проточная часть определяет все габаритные и технико-экономические показатели.

Важным этапом проектирования проточной части является выбор степени реактивности соотношения U/C_{ϕ} , они в свою очередь влияют на оптимальный теплоперепад, числа ступеней и экономичности, среднего диаметра соответственно.

Исходя из выше сказанного, необходимо ответственно подойти к проектированию проточной части данной турбины. От этого зависят массогабаритные, стоимостные показатели самой турбины и её технико-экономические показатели работы.

Библиографический список

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

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

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ СОЕДИНЕНИЯ ВОЗДУХОВОДА С ПАТРУБКОМ КОМПРЕССОРА ГТЭ-160 НА РАБОТУ СИСТЕМЫ ПРОМЫВКИ

Исследовался всасывающий патрубок компрессора газотурбинной установки ГТЭ-160 Л МЗ при двух различных конструкциях узла его соединения с воздуховодом.

Узел соединения 1 — жесткий фланец, Другой вариант соединения, который используется в тех случаях, когда не удается обеспечить абсолютно точной стыковки поперечных сечений воздуховода и патрубка, — включает гофрированный уплотняющий рукав, который крепится к швеллерам со стороны воздуховода и патрубка вдоль всего периметра поперечного сечения, козырек, обеспечивающий плавность перехода проходного сечения воздуховода в патрубок, и образуемую вышеперечисленными элементами воздушную кольцевую камеру.

Были рассмотрены траектории капель жидкости, впрыскиваемой форсунками, которые устанавливались на задней и передней стенках патрубка, а также на внутреннем конусе в зонах наибольшего влияния на структуру основного потока.

Результаты показали, что в патрубке 2 происходит расслоение траекторий капель в зависимости от их диаметра в следствии эжектирующего влияния воздуха. Каки следовало ожидать, наибольшее отклонение испытывают капли меньшего диаметра (50 мкм).

В патрубке 1 ничего подобного не наблюдается: проекции траекторий капель различного диаметра (50 и 100 мкм) на плоскость, перпендикулярную оси компрессора, практически совпадают.

Данные показывают, что использование конструкции узла соединения 2 по сравнению с простым фланцевым соединением заметно изменяет траектории капель моющей жидкости и эффективность работы всей системы промывки. На основании изложенного можно утверждать, что системы промывки компрессоров должны проектироваться индивидуально даже для ГТУ одинаковых по конструкции, но различными стыковочными соединениями элементов воздухоподводящего тракта.

Библиографический список

1. **Ольховский Г.Г.** Газовые турбины для энергетики, 2004г.

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

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

В настоящее время в газовых турбинах существует проблема - низкого срока службы лопаток из-за не эффективного охлаждения .Сопловые лопатки современных двигателей работают в крайне тяжелых условиях. При этом требования к ресурсу лопаток и температуре газа перед турбиной постоянно растут. Организация охлаждения и обеспечения работоспособности сопловых лопаток в этих условиях является сложной задачей. В процессе работы возможны повреждения лопаток практически на всех участках ее поверхности.

Для каждого участка профиля лопатки имеются оптимальные соотношения конвективного и пленочного охлаждения. Поэтому для каждого участка лопатки необходимо предусматривать свое охлаждение.

Существует множество систем охлаждения лопаток, но они еще нуждаются в доработках и совершенствованиях т.к. инженеры постоянно стремятся сделать высокоэффективную систему на которую требовалось бы минимальное количество воздуха, была бы самая эффективная теплоотдача и при этом были минимальны различные потери из-за охлаждения и необходимые запасы прочности лопатки.

Решение данной проблемы позволит увеличить время службы лопатки тем самым уменьшить затраты в процессе эксплуатации, т.е. ремонта. Так же позволит использовать более высокие параметры пара и следовательно повысить КПД.

Библиографический список

1. **Костюк А. Г.** Динамика и прочность турбомашин М.: Издательство МЭИ, 2000.480 с.
2. **Л. Д. Яблоков, И. Г. Логиннов.** Паровые и газовые турбоустановки. М.: Энергоатомиздат, 1988.352 с
3. **Капелович Б.Э.** Эксплуатация паротурбинных установок. М.: Энергия, 1975.288 с.

СОДЕРЖАНИЕ*Секция 1. Тепловые электрические станции*

- Балагурова Е.А.* Снижение тепловых потерь с уходящими газами за счет улучшения теплообмена водяного экономайзера котлоагрегата ТГ-104; *рук. Вальцева А.И.*.....5
- Аверьянова А.А.* Исследование работы регенеративного воздухоподогревателя; *рук. Водениктов А.Д.*.....6
- Гемечу Б.Д.* Гибридная гелио-геотермальная электростанция – решение для удовлетворения спроса на энергию в эфиопской рифтовой системе; *рук. Орлов М.Е.*.....7
- Гильфанов Б.А.* Очистка сточных вод с применением электромембранных технологий в энергетике; *рук. Чичирова Н.Д.*.....8
- Гомборагчаа Н.* Использование воздушных конденсационных установок на паровых турбинах ТЭС; *рук. Аронсон К.Э.*.....9
- Золн М.В.* Схема включения вакуумного деаэратора в систему регенерации турбин; *рук. Пазушкина О.В.*.....10
- Капланович И.Б.* Анализ структуры расходов электроэнергии на собственные нужды полужакрытого цикла с кислородным сжиганием топлива; *рук. Киндра В.О.*.....11
- Кириллова Н.А.* Развитие малой энергетики в России; *рук. Саитов С.Р.*.....12
- Кириллова Н.А.* Проблемы работы системы теплофикации при надстройке ТЭЦ блоками ПГУ; *рук. Саитов С.Р.*.....13
- Крашенинников В.Д.* Использование тепловой энергии ТЭЦ для опреснения воды; *рук. Шапошников В.В.*.....14

<i>Михалко Я.О.</i> Расчет экономического эффекта от внедрения схемы совместной работы паросилового и парогазового энергоблоков; <i>рук. Шапошников В.В.</i>	15
<i>Михалко Я.О.</i> Теоретические основы вытеснения высокотемпературных отборов пара на регенерацию в энергоблоках; <i>рук. Шапошников В.В.</i>	16
<i>Смирнов М.В.</i> Анализ структуры расходов электроэнергии на собственные нужды цикла Аллама; <i>рук. Киндра В.О.</i>	17
<i>Тимофеев А.А.</i> Сравнительный анализ надежности блоков на базе паросиловой установки, ГТУ, ГТУ-ТЭЦ и ПГУ; <i>рук. Смотров Н.Н.</i>	18
<i>Титов Д.А.</i> Исследование динамического сепаратора на основе численного моделирования; <i>рук. Григорьев К.А.</i>	19
<i>Барочкин Ю.Е.</i> Об уменьшении скорости внутренней коррозии трубопроводов в системах возврата конденсата отдаленных внешних потребителей ТЭС; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	20
<i>Беляева Ю.А.</i> Вспомогательные турбины, включенные в холодную линию промперегрева; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	21
<i>Бубнов К.Н.</i> Расчет эффекта от использования комбинированного пароохладителя для турбоустановок типа ПТ; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	22
<i>Вилл К.А., Вышкин А.С.</i> Реконструкция горелочных устройств; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	23
<i>Галкина Н.С.</i> Особенности использования ветроэнергетических установок; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i>	24
<i>Горшков Д.В.</i> Реконструкция сепаратора пыли; <i>рук. Михеев Г.Г.</i>	25
<i>Губанова Т.Е., Хромов А.Е.</i> Роль предприятия электроэнергетической отрасли в экономике Ивановской области; <i>рук. Мошкарина М.В.</i>	26

<i>Карнаев М.С.</i> Повышение экономичности ТЭЦ путём применения паровинтовых машин; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	27
<i>Кокулин И.А., Ефремов Р.Н.</i> Повышение эффективности работы ТЭЦ г. Казани за счет оптимизации температурного графика; <i>рук. Барочкин Е.В.</i>	28
<i>Кокулин И.А., Сударкин Е.И.</i> Влияние погодозависимого регулирования на систему теплоснабжения г. Казани; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	29
<i>Коркин Е.Д.</i> Анализ бездеаэрационных схем ПГУ; <i>рук. Зорин М.Ю.</i>	30
<i>Кулев М.О.</i> Анализ состояния и перспектив развития новых технологий на угольных ТЭС; <i>рук. Новоселов Е.М.</i>	31
<i>Курочкина А.В.</i> Разработка макета расчета нормативных удельных затрат энергоресурсов на водоподготовительную установку металлургического предприятия; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	32
<i>Лихачёва К.А.</i> Применение турбодетандеров на ТЭС, сжигающих природный газ; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	33
<i>Минеев П.А.</i> Автоматизация процедуры разработки нормативных энергетических характеристик паровых котлов, сжигающих природный газ и мазут; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	34
<i>Мишуров Н.А.</i> Тепловая экономичность кислородно-топливной установки, работающей по циклу Аллама; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	35
<i>Прибылина Ю.А.</i> Производство электрической энергии с помощью солёных солнечных прудов; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	36
<i>Смирнов Д.А., Смирнов С.А., Овчаренко О.А.</i> Варианты снижения собственных нужд мазутного хозяйства; <i>рук. Барочкин Е.В.</i>	37
<i>Соколов В.Д.</i> Оценка эффективности модернизации ЦВД турбины К-300-23,5 ЛМЗ; <i>рук. Панков С.А.</i>	38
<i>Строганов Р.О.</i> Реконструкция турбоустановки ПТ-60-130/13 ЛМЗ; <i>рук. Михеев П.Г.</i>	39

<i>Сударкин Е.И., Кокулин И.А.</i> Реконструкция системы теплоснабжения Сызранской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	40
<i>Угрюмов А.Д.</i> Разработка алгоритмической части виртуальной лабораторной работы «вакуумные испытания паровой турбины»; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i>	41
<i>Усов Д.С.</i> Расчет поправок к типовой энергетической характеристике турбоагрегата ПТ-65-130 ЛМЗ на работу деаэратора питательной воды от стороннего источника; <i>рук. Горшенин С.Д.</i>	42
<i>Фомичев М.Д., Вилл К.А.</i> Снятие ограничений электрической мощности ГТУ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i>	43
<i>Халявин В.С.</i> Определение зависимости температуры уходящих газов котла-утилизатора «П-102» от паропроизводительности при автономном режиме его работы; <i>рук. Шельгин Б.Л.</i>	44
<i>Шабулкина А.С.</i> О некоторых энерготехнологиях, применяемых для ветроустановок; <i>рук. Орлов Г.Г.</i>	45

Секция 2. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и промышленных предприятий

<i>Гареева К.А., Иванова У.В.</i> Оптимизация работы системы водоочистки Казанской ТЭЦ-2; <i>рук. Власов С.М.</i>	49
<i>Измайлова А.Р., Печенкин А.В.</i> Модернизация химического цеха филиала АО "Татэнерго" Казанской ТЭЦ-1 в связи с вводом нового блока ПГУ-240 МВт; <i>рук. Власов С.М.</i>	50
<i>Хуснутдинова Э.М.</i> Очистка газовых выбросов промышленных предприятий карбонатным шламом; <i>рук. Николаева Л.А.</i>	51
<i>Стольнова А.М., Закожурников С.С.</i> Потенциал использования энергии ветра в мелиорации земель Волгоградской области; <i>рук. Закожурникова Г.С.</i>	52

<i>Мухаметов А.Б.</i> Анализ акустической эффективности глушителей переменного сечения; <i>рук. Тараторин А.А.</i>	53
<i>Медведев В.Д.</i> Разработка программы автоматического расчета характеристик схемы химического обессоливания воды; <i>рук. Ларин Б.М.</i>	54
<i>Данилина А.А.</i> Влияние восстановительной обработки на характеристики анионита; <i>рук. Карпычев Е.А.</i>	55
<i>Колодяжная М.Э.</i> Контроль качества пара при аминной обработке питательной воды котлов высокого давления; <i>рук. Виноградов В.Н.</i> ...	56
<i>Артюхова П.Р.</i> Сравнительный анализ водно-химического режима котельных Ивановской области; <i>рук. Карпычев Е.А.</i>	57
<i>Тассо Г.С.</i> Экологические аспекты химических очисток; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	58
<i>Орлов А.Е.</i> Разработка стенда для определения количества взвешенных частиц в воде; <i>рук. Карпычев Е.А.</i>	59
<i>Гусев Н.А.</i> Переработка и использование золошлаковых отходов ТЭС и котельных; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	60
<i>Черкашина А.Р.</i> Очистка производственных сточных вод; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	61
<i>Рекина А.Ю.</i> Применение противоточных технологий в системах СВО-5; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	63
<i>Хрипунова М.Р.</i> О возможности применения этаноламина при ведении водно-химического режима АЭС; <i>рук. Зайцева Е.В.</i>	64
<i>Колодяжная М.Э.</i> Совершенствование ВПУ Костромской ГРЭС; <i>рук. Еремина Н.А.</i>	65
<i>Федорова А.Ю.</i> Кинетические характеристики химической очистки от отложений в экранных трубах паровых котлов; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i>	66

- Карманова А.С.* Исследование схемы утилизации умягченного концентрата установки обратного осмос; *рук. Бушуев Е.Н.*.....67
- Логинова А.Ю.* Анализ проблемы ресурсосбережения в системах водоподготовки на ТЭС; *рук. Бушуев Е.Н.*.....68
- Савинов М.П., Лебедева К.М.* Определение концентрации аминоксодержащего реагента по измерениям электропроводности водного теплоносителя; *рук. Ларин А.Б.*.....69
- Козловский В.В., Чельшева А.В.* Применение реагента «ВТИАМИН ТС-5» в системах оборотного охлаждения ТЭС; *рук. Ларин А.Б.*.....70
- Авдеева Е.В.* Анализ основных направлений снижения расхода воды на собственные нужды на установках обратного осмоса; *рук. Бушуев Е.Н., Пекунова А.В.*.....71

Секция 3. Химия в энергетике

- Галимова А.Р., Антонов М.А.* Разработка вставок для повышения эффективности разделения водонефтяных эмульсий; *рук. Дмитриев А.В.*.....75
- Зинуров В.Э., Галимова А.Р., Баязитова Н.И.* Повышение эффективности работы горизонтального отстойника; *рук. Попкова О.С.*.....76
- Семашкин С.Д., Панов Н.В.* Химические основы получения карбида вольфрама; *рук. Закожурникова Г.С.*.....77
- Кононенко П.Н., Васильева Ю.З.* Карбид молибдена – перспективный материал для водородной энергетики; *рук. Пак А.Я.*.....78
- Латшова В.М.* Подготовка воды для водогрейных котлов центра "ИГЭУ – De Dietrich"; *рук. Зайцева Е.В.*.....79

Секция 4. Теоретические основы теплотехники

- Садчиков А.А., Гадалова Е.А.* Математическое моделирование биогазовых установок; *рук. Бухмиров В.В.*.....83
- Светушков И.И.* Расчёт эффективности применения тонкоплёночных покрытий; *рук. Бухмиров В.В., Гаськов А.К.*..... 84
- Тростин Н.И.* Тепловой расчет теплообменного аппарата поверхностного типа для конденсации паров дихлорэтана; *рук. Корочкина Е.Е.*..... 85
- Кряжева А.А.* Создание базы задач раздела «конвективный теплообмен» курса «тепломассообмен»; *рук. Созинова Т.Е.*.....86
- Попов М.Е.* Анализ возможностей испарительного кондиционера; *рук. Чухин И.М.*.....87
- Федорцов Р.А.* Карно и техническая термодинамика; *рук. Чухин И.М.*.....88
- Минеев П. А.* Новый взгляд на природу мира. Теория А.А. Вейника; *рук. Бухмиров В.В.*.....89
- Галкина Н.С.* Научное наследие профессора Леонида Александровича Бровкина; *рук. Бухмиров В.В.*.....90
- Королева П.И.* Повторное тепловизионное обследование здания столовой промышленного предприятия; *рук. Созинова Т.Е.*.....91
- Кругликов Д.А., Афонина Г.Н.* Исследование эффективности систем потолочного охлаждения; *рук. Султангузин И.А., Глазов В.С., Шютц В.*.....92
- Гадалова Е.А., Родионова М.В.* Обеспечение комфортного микроклимата при внедрении энергосберегающих мероприятий; *рук. Бухмиров В.В.*.....93
- Гуминская С.И.* Исследование теплопередачи через наружные ограждения здания; *рук. Ракутина Д.В.*..... 94

- Фёдоров Е.В.* Разработка программы для расчета термодинамических характеристик и процессов идеальных газов; *рук. Ракутина Д.В.*.....95
- Абрамов А.Д., Винокуров М.С.* Аналитическое решение краевой задачи теории теплопроводности для тел классической формы; *рук. Родионова М.В.*.....96
- Петрова Т.С., Биряльцев А.Я.* Разработка конструкции струйно-барботажного контактного устройства; *рук. Мадышев И.Н.*.....97
- Торопов П.А.* Исследование влияния режимных параметров термических процессов на удельную производительность термических реакторов; *рук. Горинев О.И.*.....98
- Корнеева У.Д., Неплюева О.О.* Сравнение эффективности прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей; *рук. Созинова Т.Е.*.....99

Секция 5. Промышленная теплоэнергетика

- Андреева Т.Ю.* Анализ мероприятий по повышению эффективности расхода тепловой энергии и исследование эффекта «отскока» в многоквартирном жилом доме; *рук. Гужов С.В.*.....103
- Гарнышова Е.В.* Оценка толщины отложений на теплообменном оборудовании методом свободных колебаний; *рук. Измайлова Е.В.*...104
- Голубовская Д.Р.* Оптимизация теплообмена в установке ЛОНС-дегидрирования; *рук. Бернадинер И.М.*.....105
- Екимова В.А.* Экспериментальное изучение свойств осадков сточных вод (ОСВ); *рук. Бернадинер И.М.*.....106
- Ерунов А.А., Хорева П.В.* Высокотемпературное обезвреживание пестицидов; *рук. Бернадинер И.М.*.....107
- Зинуров В.Э., Мубаракшина Р.Р., Исхаков И.Ф.* Увеличение эксплуатационного срока службы газоочистных аппаратов; *рук. Попкова О.С.*.....108

<i>Зуева Т.С., Вайсс Л.</i> Теневые методы в экспериментальном исследовании распространения струй жидких углеводородов в сносщем воздушном потоке; <i>рук. Горяев А.Б.</i>	109
<i>Кругликов Д.А.</i> Современный комплексный подход к проектированию, строительству и эксплуатации энергоэффективных домов на основе BIM-, BEM- и CFD-технологий; <i>рук. Султангузин И.А.</i>	110
<i>Кузборская К.С.</i> Использование программного комплекса «Zulu Thermo» при расчете систем теплоснабжения; <i>рук. Звонарева Ю.Н.</i>	111
<i>Кузьменко Н.С., Зиза Н.А., Мусафиров Д.Е., Сухушин А.С.</i> Определение связанной влажности при гранулировании угольной смеси; <i>рук. Кан В.В.</i>	112
<i>Макуева Д.А.</i> Использование пропиленгликоля в качестве теплоносителя в теплообменном аппарате; <i>рук. Кондратьев А.Е.</i>	113
<i>Михин А.А.</i> Расчет энергетического баланса установки конденсации дымовых газов; <i>рук. Сергеев В.В.</i>	114
<i>Нгуен Д.Х.</i> Технология переработки твёрдых коммунальных отходов с производством RDF – REFUSEDERIVEDFUEL; <i>рук. Степанова Т.А.</i>	115
<i>Савчин В.М.</i> Переработка радиоактивных отходов плазменным методом; <i>рук. Бернадинер И.М.</i>	116
<i>Салеева А.Н., Калабанов Р.С.</i> Интенсификация охлаждения оборотной воды в градирнях; <i>рук. Мадышев И.Н.</i>	117
<i>Сергеева Д.В.</i> Обеспечение теплового режима обитаемой лунной станции; <i>рук. Кондратьев А.Е.</i>	118
<i>Соловьев Д.В.</i> Использование ANSYS для оценки состояния теплообменного оборудования; <i>рук. Измайлова Е.В.</i>	119
<i>Хафизова А.И., Калабанов Р.С.</i> Гидравлическое сопротивление наклонно-гофрированных контактных элементов; <i>рук. Мадышев И.Н.</i>	120

- Хуснутдинова Э.М.* Повышение эффективности процессов нагрева вязкой нефти в теплообменном оборудовании; *рук. Конахина И.А.*...121
- Аленина Е.М.* Применение тепловых насосов на атомных электростанциях; *рук. Васильев С.В.*.....122
- Баранова А.М.* Разработка системы оборотного водоснабжения тепловых насосов с использованием емкостных теплообменных аппаратов и градирен; *рук. Коновалов А.В.*.....123
- Кабаков П.А., Парфенов Г.И.* Повышение надежности эксплуатации измерительных трансформаторов за счёт разработки системы тепловой самодиагностики; *рук. Захаров В.М., Смирнов Н.Н.*.....124
- Калинин М.Д., Грибкова А.М.* Моделирование динамических режимов инфракрасного обогрева с использованием газовых и электрических излучателей; *рук. Пыжов В.К.*.....125
- Козлова М.В.* Оценка влияния реальных физических свойств паровоздушной смеси на эффективность работы опреснительной установки; *рук. Банников А.В., Соколов П.С.*.....126
- Парфенов Г.И.* Разработка энергоэффективной конструкции эжекционного кондиционера-доводчика для системы создания динамического микроклимата; *рук. Пыжов В.К., Смирнов Н.Н.*.....127
- Урвачев А.В.* Проектирование лабораторного стенда «теплый пол» для аудитории А-170; *рук. Пыжов В.К.*.....128
- Фёдоров В.А.* Разработка комплексной математической модели динамических режимов работы систем отопления; *рук. Пыжов В.К.*.....129
- Шмелева А.А., Гречин М.Р.* Повышение эффективности системы теплоснабжения от котельной; *рук. Васильев С.В.*.....130

Секция 6. Энергоресурсосбережение

<i>Алтынбаева А. А.</i> Энергосберегающие мероприятия на нефтеперерабатывающих предприятиях; <i>рук. Бабикова Н.Л.</i>	133
<i>Буцуев А.С.</i> Эффективные материалы для изоляции; <i>рук. Краснова Н.П.</i>	134
<i>Земсков А.А.</i> Погодозависимое регулирование; <i>рук. Володин Е.А.</i>	135
<i>Ибраева К.Т., Шутова Е.В.</i> Изучение минеральной части биомассы применительно к энергетическому использованию; <i>рук. Заворин А.С.</i>	136
<i>Игнатов В.Ю.</i> Сравнение схем автономных энергокомплексов на основе малой ТЭЦ и ВЭУ; <i>рук. Николаев Ю.Е.</i>	137
<i>Изотова Е.А.</i> Энергосберегающий комплекс производства тепла и холода; <i>рук. Медведева О.Н.</i>	138
<i>Комаров К.А., Ковалев Д.В.</i> Возможность использования бескомпрессорной пассивной системы охлаждения микропроцессоров; <i>рук. Банников А.В.</i>	139
<i>Кравцов Д.А.</i> Фазовый переход как источник скрытой теплоты; <i>рук. Савченкова Н.М.</i>	140
<i>Морозова А. А., Чурасов М.М.</i> Анализ удельных тепловых характеристик МКД типовых серий; <i>рук. Анисимова Е.Ю.</i>	141
<i>Нгуен Т.</i> Сравнительная оценка технико-экономических показателей систем теплоснабжения на основе рекуперации тепла потерь трансформаторов подстанций; <i>рук. Гильфанов К.Х.</i>	142
<i>Скурихин А.В.</i> Разделение механизмов теплопереноса в пористых огнеупорных теплоизоляционных материалах; <i>рук. Костановский А.В.</i>	143

Халлыев И.А., Халлыев К.А. Анализ экономической эффективности различных видов коллектора теплового насоса; *рук. Гильфанов К.Х.*.....144

Алеманова Е.С., Гадалова Е.А. Повышение эффективности солнечных коллекторов; *рук. Васильев С.В.*.....145

Репина К.А. Современное состояние и проблемы развития энергосбережения в России; *рук. Костерин А.Ю.*.....146

Секция 7. Автоматизация технологических процессов

Абдрахманов А.М. Применение отечественных роботов на примере мебельного производства; *рук. Богданов А.Н.*.....149

Артамонов В.Э., Матвеева А.А., Шимотюк А.П. Анализ механизма работы сетевых протоколов и устройств с помощью эмулятора компьютерных сетей; *рук. Ставров С.Г.*.....150

Волков И.И., Леднев В.А., Матвеева А.А. Специфика применения операционного исчисления в задачах автоматического регулирования; *рук. Ставров С.Г.*.....151

Галанова О.Н., Легостаева О.М. Проектирование базы данных по отказам основного оборудования ТЭС; *рук. Ставров С.Г.*.....152

Демидов А.Л. Автоматизация измерений присосов воздуха в вакуумную систему паровой турбины; *рук. Рябчиков А.Ю.*.....153

Зыкова Ю.О. Решение расчетно-графической работы в Pascal; *рук. Торопова Е.К.*.....154

Колесов В.С. Реализация каналов фильтрации для подавления шумов в TRACE MODE; *рук. Демин А.М.*.....155

Леднев В.А., Шимотюк А.П., Волков И.И. Особенности применения спектрального гармонического анализа в задачах автоматического регулирования; *рук. Ставров С.Г.*.....156

<i>Мальшев И.С.</i> Использование генетического алгоритма в задаче настройки нейросетевого регулятора; <i>рук. Кондрашин А.В.</i>	157
<i>Мишина О.Д.</i> Исследование алгоритмов (законов) управления теплоэнергетическими процессами с помощью среды Codesys и Vissim; <i>рук. Блинов О.В.</i>	158
<i>Муратов Р.М.</i> Возможности совместного использования робота Кука и блока линейных перемещений; <i>рук. Богданов А.Н.</i>	159
<i>Рамазанова Е.Р.</i> Регулирование температуры аэросмеси в аварийном режиме работы мельницы; <i>рук. Демин А.М.</i>	160
<i>Розенфельд В.Н.</i> Автоматизация процесса формирования наконечников различных деталей на оборудовании гидравлической формовки с помощью логического модуля управления; <i>рук. Филимонова Т.К.</i>	161
<i>Руденко Ю.С.</i> Автоматизация переработки птичьего помёта в органические удобрения; <i>рук. Рябцев В.Г.</i>	162

Секция 8. Паровые и газовые турбины

<i>Гаева А.А., Водениктов А.Д.</i> Устройство для деаэрации основного конденсата в конденсаторах паровых турбин; <i>рук. Минибаев А.И.</i>	165
<i>Нестеров П.М.</i> Парогазовая установка, работающая на твердом биотопливе; <i>рук. Митрохова О.М.</i>	166
<i>Тимшина Я.С., Ухлин А.А.</i> Особенности и проблемы применения конструкции осевого выхлопа в паровых турбинах; <i>рук. Брезгин В.И.</i>	167
<i>Ухлин А.А., Тимшина Я.С.</i> Оценка эффективности применения реактивного облопачивания с переменной степенью реактивности в цилиндрах высокого давления паровых турбин; <i>рук. Брезгин В.И.</i>	168

- Менделеев Д.И., Марьин Г.Е.* К вопросу охлаждения воздуха, подаваемого в компрессор газотурбинной установки; рук. *Галицкий Ю.Я.*.....169
- Марьин Г.Е., Менделеев Д.И.* Влияние состава топливного газа на работу газовых турбин; рук. *Осипов Б.М.*.....170
- Аверин Н.И.* Разработка способов снижения потерь в проточной части паровых и газовых турбин; рук. *Григорьев Е.Ю.*.....171
- Коротов Е.О.* Разработка дополнительных поправочных зависимостей к типовой энергетической характеристике турбоагрегата ПТ-65-130 на питание деаэратора от коллектора собственных нужд; рук. *Виноградов А.Л.*.....172
- Нямба Ив. Р.* Повышение эффективности ГТД-110 при работе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ); рук. *Григорьев Е.Ю.*.....173
- Павлычев С. А.* Исследования особенностей турбины, работающей на диоксиде углерода и разработка метода её проектирования; рук. *Григорьев Е.Ю.*.....174
- Костин Н.И.* Влияние конструкции соединения воздуховода с патрубком компрессора ГТЭ-160 на работу системы промывки; рук. *Буданов В. А.*.....175
- Тюсин А.М.* Разработка способов повышения ресурса охлаждаемых лопаток промышленных газовых турбин; рук. *Григорьев Е.Ю.*.....176

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

**ПЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙКАЯ
(СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2020»**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
ТОМ 1**

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 05.05.2020. 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.