

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

---

**75-летию**  
**теплоэнергетического факультета**  
**посвящается**

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

**«ЭНЕРГИЯ-2023»**

**ВОСЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ**  
**(ДЕСЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)**  
**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ**  
**И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**г. Иваново, 16-18 мая 2023 года**  
**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТОМ 1**

**ИВАНОВО**

**ИГЭУ**

**2023**

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА** // Восемнадцатая всероссийская (десятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2023»: материалы конференции. В 6 т. Т. 1. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2023. – 160 с.

ISBN 978-5-00062-559-1

ISBN 978-5-00062-565-1 (Т.1)

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

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

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

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

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

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

**СЕКЦИЯ 1**

**ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

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

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

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

## **ВЛИЯНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

В соответствии с экологической повесткой нового тысячелетия в Парижском соглашении от 2016 года, объединившим около 200 стран, отражено стремление государств к уменьшению выбросов парниковых газов [1]. Страны-участники соглашения должны снижать долю предприятий с большими объемами таких выбросов. Это привело к развороту энергетики Европы к «зеленым» источникам энергии.

Одним из экологически чистых источников энергии принято считать энергию атома. Но несмотря на это, воздействие атомной отрасли на окружающую среду, достаточно существенно. К основным опасностям отрасли можно отнести:

1. Радиация. Атомные электростанции постоянно выбрасывают в окружающую среду низкий уровень радиации. Научные исследования передовых стран показали, что длительное воздействие низкого уровня радиации вносит изменения в структуру ДНК, а ущерб, наносимый природе, до конца не изучен [2].

2. Радиоактивные отходы, остающиеся активными на протяжении многих лет. В настоящее время проблема с транспортировкой, переработкой и захоронением радиоактивных отходов до конца не решена [3].

3. Система водяного охлаждения, предназначенная для предотвращения перегрева атомных электростанций. Основной экологической проблемой в этом направлении является возврат теплой охлаждающей воды, что приводит к гибели водоема.

4. Аварии на атомных станциях. В случае аварии на атомной электростанции люди и окружающая среда могут подвергнуться воздействию высоких уровней радиации. Причиной таких аварий может стать техногенный, природный или человеческий фактор.

### **Библиографический список**

1. Парижское соглашение URL: <https://www.un.org/ru/climatechange/paris-agreement> (дата обращения:16.02.2023)
2. Яблоков А.В., Миф об экологической чистоте атомной энергетики. [Электронный ресурс]. М. Уч.-метод. Коллектор «Психология», 2001 – 136 с. URL: [https://www.yabloko.ru/books/mif\\_4.pdf](https://www.yabloko.ru/books/mif_4.pdf) (дата обращения:21.02.2023)
3. Влияние радиоактивных отходов URL:<https://sciencing.com/two-environmental-problems-nuclear-power-generating> (дата обращения:21.02.2023)

*О.Р. Устинова, студ.; рук. Е.В. Зиновьева, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕТРОПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНА**

В последние годы использование нетрадиционных источников энергии получает всё большее распространение. Исследования показывают, что общий технический потенциал возобновляемых источников энергии сможет покрыть полностью потребности энергоснабжения России. Так, технический потенциал ветра оценивают в 17100 млрд кВт·ч, что в 17 раз превышает общее потребление электроэнергии страны [1].

В настоящее время стоимость электрической энергии, выработанной на ветростанциях, достаточно высока по сравнению с объектами «традиционной» энергетики. Причем, и стоимость выработанной электрической энергии, и мощность ветроэнергетической установки (ВЭУ) зависит от скорости ветра. А именно, чем больше скорость ветра, тем ниже себестоимость произведённой энергии и выше мощность установки. А значит устанавливать ветростанции целесообразнее в регионах с высокими скоростями ветра. Поэтому на предварительном этапе делают анализ ветропотенциала местности – полной энергии ветрового потока какой-либо местности на определенной высоте над поверхностью земли.

Первоначальными источниками информации о скорости и направлении ветра являются многолетние архивные метеоданные с детализацией до нескольких измерений в сутки, например, таких как «Погода России» [2].

Совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра объединяется в ветроэнергетический кадастр региона. Эти характеристики позволяют определить энергетическую ценность ветра, а также оптимальные параметры и режимы работы ветроэнергетических установок [3]. На данном этапе происходит принятие решения о целесообразности исследования.

### **Библиографический список**

1. Ланьшина Т., Ветроэнергетический рынок России [Электронный ресурс]: потенциал развития новой экономики / Т. Ланьшина.- М.:Фонд Фридриха Эберта в России, 2021. – 48 с. / URL :<https://library.fes.de/pdf-files/bueros/moskau/17579-20210408.pdf> (дата обращения 20.03.23)
2. Погода России [Сайт] [Электронный ресурс] / URL: <http://meteo.infospace.ru/> (дата обращения 20.03.23)
3. Официальный сайт Всероссийской ассоциации ветроиндустрии [Электронный ресурс] / URL: <https://rawi.ru/services/faq/> (дата обращения 20.03.23)

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

## **ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА – ПРОИЗВОДСТВО И ХРАНЕНИЕ**

Исходя из мирового тренда на декарбонизацию экономики, правительство России приняло ряд документов по развитию водородной энергетики. Одни из последних - Энергетическая стратегия России на период до 2035 г. (ЭС-2035) [1] и Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации [2]. В документах отражена необходимость разработки водородных технологий, включая технологии производства, аккумулирования энергии, технологий хранения и транспортировки водорода.

В настоящее время наиболее экономически выгодным считается производство водорода из ископаемого сырья путем паровой конверсии. Однако, такой способ получения не отвечает всем требованиям экологичности процесса производства – с этой точки зрения наиболее релевантным считается получение водорода с помощью энергии из возобновляемых источников методом электролиза воды [3, 4].

Но кроме получения водорода перед отраслью стоит немаловажная технологическая проблема – безопасное и экономически эффективное хранение полученного водорода. Организация хранения водорода, наряду с его производством, может потребовать значительные экономические затраты. Это обусловлено как особенностями водорода как топлива, так и особыми требованиями к системе хранения в целом. На данном этапе выделяют следующие способы хранения водорода [3, 4]:

- в газообразном виде под давлением, хранение может быть наземным и подземным;
- в жидком состоянии;
- в виде гидридов;
- сорбенты, работающие по принципу адсорбции.

### **Библиографический список**

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. URL: <http://minenergo.gov.ru/node/1026> (дата обращения 03.03.23)
2. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. URL: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf> (дата обращения 03.03.23)
3. Козлов С.И., Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы /С.И. Козлов, В.Н. Фатеев. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – 518 с.
4. Шпильрайн Э.Э., Введение в водородную энергетику /Э.Э. Шпильрайн, С.П. Мальшенко, Г.Г. Кулешов; под ред. В.А. Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 264 с.

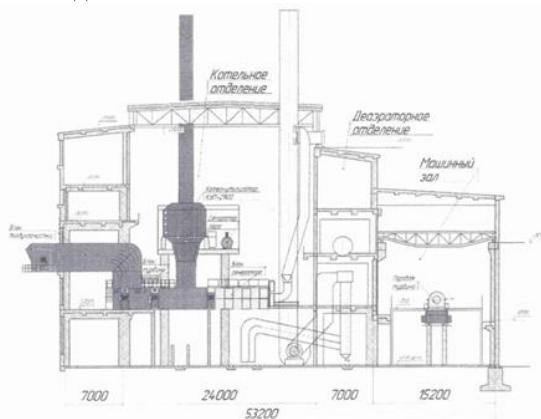
*П.Д. Романин студ.; рук. А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РЕКОНСТРУКЦИЯ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ ТЭЦ

В настоящее время Севастопольская ТЭЦ работает в режиме водогрейной котельной. На станции эксплуатируются 3 паровых котла БКЗ 80-39-ФБ, водогрейный котел ВПЕ 50-16-115 ГМ находится в консервации, паровые турбины Т-20-29 и Р-13-29 не эксплуатируются с 2019 года.

С учетом физического и морального износа оборудования ТЭЦ предложен проект реконструкции станции с использованием отечественного оборудования:

- две газотурбинные установки электрической мощностью 16,3 МВт и тепловой мощностью 20 МВт;
- два котла-утилизатора КУП-2900;
- две конденсационные паровые турбины Т-4-1,6-1;
- две дожимные компрессорные станции на газотурбинных установках;
- два пункта подготовки газа ППГ.



**Рисунок 1** – План размещения оборудования на территории Севастопольской ТЭЦ

Данный проект предполагает, что электрическая мощность станции составит до 25 МВт, что позволит работать на розничном рынке электроэнергии. Объем выработки электроэнергии ожидается на уровне 150 млн.кВт ч в год, что обеспечит полное покрытие потребностей коммунальных предприятий городского хозяйства.

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОМСКОЙ ТЭЦ-3**

На магистральных тепловых выводах Омской ТЭЦ-3 поочередно были смоделированы аварийные ситуации, после чего производился расчет. Результаты расчета показали, что при аварии на "Восточном" или "Северном" магистральных тепловых выводах, благодаря высокой степени закольцованности тепловой сети Омской ТЭЦ-3, теплоснабжение у потребителей незначительно ухудшится. Температура внутреннего воздуха у потребителей не опустится ниже +15 °С.

При аварии на "Южном" магистральном тепловом выводе произойдет аналогичная ситуация, и температура внутреннего воздуха не опустится ниже +14°С.

При аварии на "Западном" магистральном тепловом выводе расчет показал, что отдаленные от Омской ТЭЦ-3 районы останутся без теплоснабжения вовсе или теплоснабжение продолжится, но температура внутреннего воздуха у них упадет ниже +12 °С.

Для повышения надежности теплоснабжения потребителей Омской ТЭЦ-3 нужно произвести реконструкцию магистрального теплового вывода "Южный" с увеличением диаметра с 600 мм на 800 мм от Омской ТЭЦ-3 до ТК-III-Ю-21 длиной 3300 м и сделать переемы диаметром 700 мм между магистральными выводами в конце реконструируемого участка.

Для моделирования аварийной ситуации на "Центральном" магистральном тепловом выводе по результатам расчета, ввиду закольцованности тепловой сети от Омской ТЭЦ-3, теплоснабжение у потребителей будет незначительно нарушено, а температура внутреннего воздуха не опустится ниже +14 °С.

Существующие источники централизованного теплоснабжения, которые вблизи от зоны действия ТЭЦ-3, не смогут обеспечить теплоснабжение потребителей ТЭЦ-3 в случае аварийного выхода из эксплуатации данного источника теплоснабжения. Предлагается рассмотреть строительства общей водогрейной котельной для резервирования тепловой мощности ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4 на случай аварийным остановом одной из ТЭЦ. Строительство котельной целесообразно выполнить на промплощадке ТЭЦ-3.



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

## ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОУСТАНОВОК

Значительный рост энергопотребления во всем мире приводит к уменьшению запасов топливно-энергетических ресурсов. Это обуславливает все более широкое использование нетрадиционных источников энергии. Одним из наиболее доступных источников является ветер. В настоящее время во многих странах мира эффективно работают ветроэнергетические установки (ВЭУ), внося свой вклад в общую выработку электроэнергии.

Для определения целесообразности размещения ВЭУ на той или иной территории необходимо учитывать два основных фактора: наличие высокого ветрового потенциала и географические особенности местности [1, 2, 3]. Наиболее благоприятными районами для установки ВЭУ любого назначения считаются регионы со среднегодовой скоростью ветра от 6 м/с и выше. Установка ВЭУ в менее благоприятных регионах требует расширенных предварительных расчетов по ожидаемой выработке энергии. Территориально наиболее предпочтительным является размещение ВЭУ на возвышенностях, либо равнинных участках, расположенных около морей или вдоль долин больших рек.

Так же при выборе места установки учитывают преобладание основных потоков ветра, что позволяет установить большее количество ветряков на том же участке, без возникновения эффекта «затенения».

Перечень требований к установке ВЭУ насчитывает несколько десятков позиций и закреплен государственными стандартами [3].

### Библиографический список

1. Официальный сайт Российской ассоциации ветроиндустрии (РАВИ) URL: <https://rawi.ru/2020/03/plan-pererabotki-lopastey-veu-kotoryiy-izbavit-ot-nih-poligonyi-dlya-othodov/> (обращения 05.03.23)
2. Безруких П.П., Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание/ П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибков, под общ. ред. П.П. Безруких. – М.: «ИнтехэнергоИздат», «Теплоэнергетик», 2014. – 304 с. URL: <https://rawi.ru/wp-content/uploads/2021/01/vetroenergetika-spravochno-metodicheskoe-izdanie-by-bezrukih-p.p.-bezrukih-p.p.-ml.-gribkov-s.v..pdf> (дата обращения 06.03.23)
3. Библиотека государственных стандартов ГОСТ Р 54418.1 Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. URL: <http://gost.gtsever.ru/cgi-bin/ecat/ecat.cgi?b=0&c2=3&f1=%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%20%D0%A0%2054418.1&f2=1> (дата обращения 06.03.23)

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ТЭЦ**

С каждым годом во всем мире возрастает потребление электроэнергии. Стремительный рост потребления стал толчком для разработки новых способов получения электроэнергии, а также исследования энергосберегающих технологий. Российская Федерация поддерживает эту тенденцию. В 2009 году правительство РФ утвердило стратегию по эффективному использованию природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора [1].

В качестве одного из способов по повышению энергоэффективности и энергосбережения предлагается разработка технических решений по использованию тепловых насосов в городских системах теплоснабжения [1]. В основу решения легла технология, позволяющая использовать тепловые насосы для подогрева обратной сетевой воды перед подогревателями сетевой воды забрав низкопотенциальное тепло у циркуляционной воды перед сбросом ее в градирню [2].

Предполагается, что результатом внедрения тепловых насосов в цикл рециркуляции станет уменьшение затрат на топлива на ТЭЦ за счет предварительного подогрева обратной сетевой воды и улучшение вакуума в конденсаторе паровой турбины.

Однако, устанавливая тепловые насосы следует учитывать: затраты энергии на привод компрессора, а также определенные капитальные и эксплуатационные затраты на теплонасную установку [3].

Поэтому перед внедрением тепловых насосов на ТЭЦ необходим подробный расчет показателей энергетической эффективности тепловых насосов, а именно, отношение полезно отдаваемой теплоты теплотребителю к энергии на привод компрессора. [3].

### **Библиографический список**

1. Распоряжение правительства РФ от 13 ноября 2009 г. N 1715-р «Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2030 года»
2. Девянин Д.Н. Разработка и испытание на ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» лабораторного стенда по апробации схем использования тепловых насосных установок в энергетике [Электрон. ресурс] / Д.Н. Девянин, Ю.Н. Соколов // ЭСКО Электронный журнал энергосервисной компании «Экологический системь». – 2007. №10 URL: <http://www.energosovet.ru/stat146.html> (дата обращения 23.02.23)
3. Аникина И.Д. Применение тепловых насосов для повышения энергоэффективности паросиловых ТЭС /И.Д. Аникина, В.В. Сергеев //Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – № 178. – С. 56-61 URL: <https://engtech.spbstu.ru/article/2013.84.7/> (дата обращения 25.02.23)

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

## УВЕЛИЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НОВО-ИРКУТСКОЙ ТЭЦ

Одной из главных проблем всех современных ТЭЦ является снижение отпуска тепловой энергии ввиду снижения теплоснабжения в жилых домах и сокращение потребления тепла с паром и горячей водой промышленными потребителями. Данные обстоятельства обуславливают увеличение конденсационной выработки электроэнергии на ТЭЦ, что негативно сказывается на эффективности производства тепла и электроэнергии. В статье рассмотрены мероприятия по увеличению тепловых нагрузок на действующей Ново-Иркутской ТЭЦ путем переключения потребителей закрываемых котельных:

1. Закрытие котельных по ул. Ядринцева-Баррикад. Для этого необходимо: строительство тепловых сетей от ТК-7Е до УТ-20 длиной 4895 м, диаметром 150-600 мм и от УТ-13 до ТК-23Д-25 длиной 2864 м, диаметром 150-400 мм; строительство 6 ЦТП взамен существующих котельных; строительство ПНС "Ядринцева".

2. Закрытие котельных по ул. Радищева. Для этого необходимо: строительство тепловых сетей от ТК-13Е до УТ-15 длиной 4400 м и диаметром 100-250 мм; строительство 5 ЦТП взамен существующих котельных; строительство ПНС Радищева.

3. Закрытие котельной ИЗО. Для этого необходимо: строительство тепловых сетей длиной 931 м диаметром 250 мм; строительство ЦТП взамен существующей котельной.

4. Переключение котельной мкр. Зеленый. Для этого необходимо: строительство тепловой сети от ТК-44Е до мкр. Зеленый длиной 4274,4 м диаметром 300 мм; реконструкция тепловой сети от ТК-42Е до ТК-44Е длиной 223,5 м диаметром 350 мм и тепловой сети длиной 1300 м диаметром 300 мм; строительство ЦТП взамен котельной.

**Таблица 1 – Топливо-энергетические балансы "Ново-Иркутской" ТЭЦ**

Наименование показателя	Ед. изм.	Период прогнозирования	
		2021	2030
Отпуск тепловой энергии с коллекторов	тыс. Гкал	5 150,4	5 599,2
Выработка электрической энергии всего	тыс. МВт-ч	2 615,2	2 964,0
Отпуск электрической энергии	тыс. МВт-ч	2 219,6	2 540,6

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

## **ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПГУ ОДНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГТЭ-160**

Для оценки параметров цикла требуется провести комплексную термодинамическую оптимизацию основных параметров цикла (начальное давление и температура пара, температура уходящих газов, параметры паро-водяного контура низкого давления) по критерию максимума КПД ПГУ нетто.

В схеме одного давления минимальный температурный напор определяется как разность температур газов за экономайзером  $\vartheta_3''$  и температуры воды после экономайзера  $t_3''$ , т.е.:

$$\Delta t_{\text{мин}} = \vartheta_3'' - t_3''$$

Если располагаемое тепло газов в диапазоне температур выше точки насыщения, меньше количества тепла, воспринимаемого пароводяной средой в указанном диапазоне, то точка максимального сближения температур находится на выходе газов из зоны испарения. Определение местоположения точки максимального сближения температур (минимального температурного напора) требует расчёта баланса тепловой энергии для конкретного случая.

Снижению  $\Delta t_{\text{мин}}$  способствует уменьшение температуры уходящих газов  $\vartheta_{\text{ух}}$ , повышение начального давления  $P_0$ , и температуры перегретого пара  $t_0$ .

Цикл одного давления является наиболее простым вариантом из всех существующих схем. Здесь в котле-утилизаторе вырабатывается пар одного сочетания параметров, который направляется в паровую турбину простейшего типа. Наиболее простая схема котла-утилизатора состоит из трех поверхностей нагрева: экономайзера, испарительной части и перегревателя.

Локальный термодинамический оптимум  $P_0$  для ГТЭ-160 составляет 2,1÷2,6 МПа, при комплексной оптимизации всех параметров ПГУ оптимум  $P_{0,\text{т.д.}}^{\text{опт}} = 2,43$  МПа

Техническим ограничением  $P_0$  является нулевой температурный напор за испарителем, который возникает в данном случае при  $P_0=2,64$  МПа, что приводит к бесконечно большому значению поверхности котла-утилизатора а, следовательно, резкому снижению мощности ГТУ, ПГУ и КПД утилизационной установки при бесконечно больших значениях приведенных затратах.

*А.А. Чернов, студ.; рук. И.А. Кокулин, ассистент  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ АЭС**

Проблема необходимости технического водоснабжения АЭС связана с необходимостью остужения механизмов данного типа станций при помощи подведения воды. Способ решения данной проблемы – использование систем технического водоснабжения АЭС.

Основная система охлаждающей воды предназначена для подачи охлаждающей воды и отвода тепла от конденсаторов турбины, а также для подачи воды на подъемные насосы эжекторов во всех режимах нормальной эксплуатации. Основная система является системой нормальной эксплуатации, не влияющей на безопасность, и ее элементы относятся к классу 4 по нормам и правилам использования атомной энергии.

Вспомогательная система охлаждающей воды предназначена для отвода тепла от промконтура охлаждения неответственных потребителей здания турбины и конденсаторов холодильных машин в здании водоподготовки. Вспомогательная система является системой нормальной эксплуатации, и ее элементы относятся к классу 4 по нормам и правилам использования атомной энергии.

В состав зданий и сооружений, обеспечивающих функционирование систем основной и вспомогательной, входят: насосная станция потребителей здания турбины, градирни, трубопроводы охлаждающей воды, закрытый подводящий канал от градирен до насосной.

Система охлаждающей воды ответственных потребителей по назначению и характеру выполняемых функций является обеспечивающей системой безопасности. Она должна работать пока ядерное топливо находится в реакторе или бассейне выдержки, в том числе и в любой аварийной ситуации

В состав зданий и сооружений системы охлаждения ответственных потребителей входят: насосные станции, камеры переключения, брызгальные бассейны, резервная емкость, тоннели трубопроводов ответственных потребителей

Для организации подпитки и продувки оборотных систем охлаждающей воды требуется функционирование следующих систем:

системы добавочной воды, системы водоводов подпитки, системы водоводов продувки.

Таким образом, системы технического водоснабжения АЭС играют особую роль на них, так как выполняют охлаждающую функцию.

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК КАЛИНИНГРАДСКОЙ ТЭЦ**

Завышение договорных тепловых нагрузок над фактическими приводит к формированию неправильного резерва тепловой мощности для ТЭЦ, что негативно сказывается на прогнозах развития городов.

Для проведения расчета фактических тепловых нагрузок потребителей Калининградской ТЭЦ были использованы посуточные ведомости приборов учета, установленные у 183 бюджетных учреждений. Расчет фактической тепловой нагрузки проводился в соответствии с 2 методиками: 1) методика определения тепловой нагрузки водяной системы отопления объекта теплоснабжения по результатам данных приборов учёта; 2) методика определения тепловой нагрузки систем горячего водоснабжения по результатам данных приборов учета потребления тепловой энергии. Было выявлено, что у большинства объектов установлен один прибор учёта, который измеряет величину потребления тепловой энергии на вентиляцию, ГВС, отопление. На данных объектах, для вычисления тепловой нагрузки ГВС использовалась не вторая методика, а показания единственного прибора учета в неотапливаемый период, когда отсутствует нагрузка на отопление и вентиляцию. Полученная таким образом нагрузка на ГВС в летний период дополнительно умножалась на коэффициент 1,2, который учитывает повышение тепловой нагрузки ГВС в отопительный период в виду снижения температуры исходной воды с  $+15^{\circ}\text{C}$  до  $+5^{\circ}\text{C}$ .

По результатам расчета необходимо отметить следующее:

1. Для 2 объектов указана договорная нагрузка тепловой нагрузки ГВС 0 Гкал/ч, однако, есть теплоснабжение в летний период, что позволило определить фактическую тепловую нагрузку ГВС.

2. Для 1 объекта не были предоставлены данные по теплоснабжению на нужды отопления и вентиляции. В результате была определена только тепловая нагрузка на нужды ГВС. Сравнение с фактической нагрузкой не производилось.

3. Для 2 объектов не были указаны данные по договорным тепловым нагрузкам потребителей, из-за чего сравнение с фактическими нагрузками не производилось.

4. Для 4 объектов величина фактической тепловой нагрузки превышает значение договорной нагрузки на величину от 12,6% до 49,2%.

Для остальных объектов фиксируется превышение договорной тепловой нагрузки над фактической, которое в среднем составляет 196 %.

*В.Д. Битней, студ.; А.А. Тимофеев, асп.; рук.*

*Н.Н. Смотров, к.т.н., доц.*

*(ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва)*

## **ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ТВФ-110**

Проблема избытка реактивной мощности в энергосистеме Московского региона существует длительное время и обусловлена рядом причин:

- общее снижение энергопотребления в регионе и, как следствие, ненагруженные ЛЭП работают, как источники реактивной мощности;
- постепенная замена воздушных линий (ВЛ) электропередач на кабельные с изоляцией, выполненной из сшитого полиэтилена, которые имеют существенно большую удельную емкость;
- недостаточное количество и мощность существующих средств компенсации реактивной мощности на подстанциях Московского региона (в том числе из-за демонтажа синхронных компенсаторов).

В период минимальных нагрузок в энергосистеме г. Москвы и Московской области фиксируется ухудшение ситуации с регулированием повышенных напряжений, вызванных избытком реактивной мощности, что, безусловно, снижает качество и надежность энергоснабжения потребителей. На текущий момент проблема избытка реактивной мощности в энергосистеме Московского региона решается за счет перевода установленных на ТЭС турбогенераторов (ТГ) в режим потребления реактивной мощности (недовозбуждения). Систематическая работа в указанном режиме приводит к деградации и разрушению торцевых зон сердечника ТГ, что в практике эксплуатации неоднократно приводило к аварийным отключениям вследствие прорезания изоляции обмотки статора неподжатыми и обломившимися фрагментами листов активной стали. Важно также отметить, что режим потребления реактивной мощности влечет за собой увеличение нагрева обмоток статора и, как следствие, ускорение процесса теплового старения изоляции. Для предупреждения ухудшения состояния изоляции в ТГ типа ТВФ-110 в программном комплексе ANSYS Motor CAD в среде EMag была построена тепловая модель, верифицированная за счет данных по потреблению/выдаче реактивной мощности и данных по изменению температуры обмотки и активной стали сердечника статора, на основе которой были получены зависимости предельно допустимых значений реактивной мощности от продолжительности работы оборудования в указанных режимах.

**В.Л. Жохов, М.А. Емелин**  
*(ПАО «Мосэнергосервис», г. Москва)*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ СИСТЕМ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

При эксплуатации парогазовых установок (ПГУ) необходимо учитывать влияние внешних термодинамических параметров воздуха на вырабатываемую мощность и КПД газотурбинной установки (ГТУ), входящей в состав ПГУ.

В зимний период времени возникает вероятность обледенения поверхностей комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ) воздухозаборного тракта (ВЗТ) ГТУ. Условиями для начала образования наледи принято считать температуру окружающего воздуха ниже  $+5^{\circ}\text{C}$  и относительная влажность выше 80%. Опасность данного явления состоит в том, что при возникновении льда на поверхностях КВОУ уменьшается расход всасываемого воздуха, происходит дросселирование, вследствие чего рабочая точка осевого компрессора смещается к границе возникновения помпажа. Кроме того, образовавшиеся частицы льда могут проникнуть в проточную часть компрессора, нанеся тем самым непоправимый ущерб оборудованию.

Для устранения этой проблемы было принято решение о создании системы подогрева воздуха на всасе ГТУ. На данный момент самыми распространёнными из них являются:

- 1) Система распыла горячего воздуха через форсунки. Она заключается в отборе сжатого горячего воздуха из одной из последних ступеней компрессора и его подачей на всас.
- 2) Использование теплообменных аппаратов. В КВОУ размещается специальный модуль, в которой устанавливается трубчатый оребренный теплообменный аппарат. Теплоносителем в этой системе является водный раствор этиленгликоля.

Каждая из этих систем повышает температуру воздуха, подаваемого на всас компрессора, а также создаёт дополнительное аэродинамическое сопротивление, что в свою очередь сказывается на работе ГТУ. А именно, на изменении выходной мощности и КПД установки.

В данной статье рассмотрен сравнительный анализ паспортных данных двух систем подогрева воздуха, а также составлен вывод о влиянии их работы на мощность и КПД ГТУ.



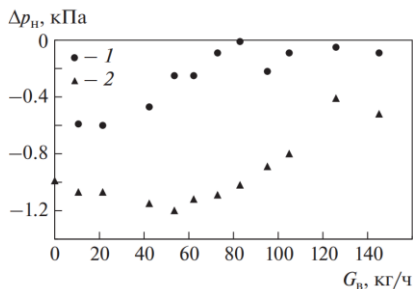
*А.Л. Демидов, асп.; рук. А.Ю. Рябчиков, д.т.н., проф.  
(УрФУ, УралЭНИИ, г. Екатеринбург)*

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ

В статье представлены результаты испытаний, полученные на конструкциях современных многоступенчатых эжекторов с выносными охладителями. Для получения экспериментальных данных использовались электронные датчики измерения абсолютных и относительных давлений. Максимальная погрешность приборов, согласно тарифовке, не превышала 0,21%.

Испытания эжекторов с выносными охладителями позволили выявить некоторые особенности, характерные для работы многоступенчатых пароструйных эжекторов [1].

В камерах смешения эжекторов, включая диффузорную часть, происходит сжатие паровоздушной смеси. При этом, установлено, что увеличение давления наблюдается от сечения за диффузором каждой ступени до приемной камеры следующей ступени; на этом участке проточной части эжектора установлен промежуточный охладитель. На рис. 1, в качестве примера, приведены результаты измерений разности давлений после диффузора и в приемной камере следующей ступени. Обращает на себя внимание, что разность давлений отрицательна. Также установлено, что данная разность давлений уменьшается при увеличении присосов воздуха.



**Рисунок 1** – Разность давлений  $\Delta p_n$  между диффузором и приемной камерой смешения следующей ступени 1 –  $(p_d^1 - p_n^2)$ ; 2 –  $(p_d^2 - p_n^3)$

### Библиографический список

- 1. Аронсон К.Э.** Особенности разработки и функционирования многоступенчатых пароструйных эжекторов Аронсон К.Э., А. Ю. Рябчиков, Н. В. Желонкин, Д. В. Брезгин, А. Л. Демидов, Д. Ю. Балакин. М.: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2023, №4. 5-15 с.

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

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ПСВ

Использование энергосберегающих технологий, разработка и внедрение методик, основанных на принципах рационального использования энергоресурсов, являются приоритетными задачами нашей страны в области производства тепловой и электрической энергии.

Целью выполненной работы являлось повышение надежности работы ПСВ, снижение его массогабаритных характеристик, сокращение или полное исключение обслуживания при эксплуатации, в результате чего увеличивается экономическая эффективность использования данного оборудования, что является актуальной задачей для отрасли теплоэнергетики.

Традиционно в качестве ПСВ на ТЭС применяются кожухотрубные и пластинчатые теплообменные аппараты, в которых в качестве греющей среды используется горячая вода или водяной пар.

В рамках данной работы был изготовлен ПСВ радиально-спирального типа с фильтром непрерывного действия для очистки сырой воды перед подачей в ПСВ (рис. 1).

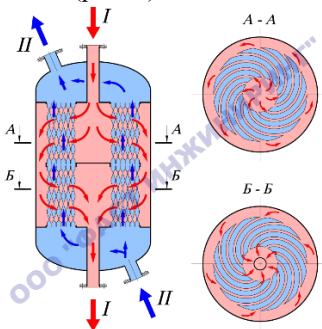


Рисунок 1 – Схема теплообменного аппарата радиально-спирального типа

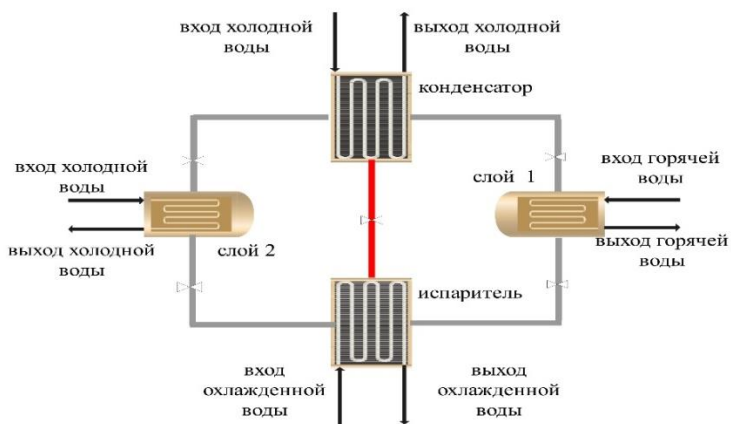
Опыт длительной эксплуатации теплообменных аппаратов радиально-спирального типа в промышленности для охлаждения технологических потоков оборотной водой, а также в системах отопления и горячего водоснабжения показал высокую эффективность работы таких аппаратов и сохранение стабильной теплопередачи даже при использовании жесткой воды. При этом не требовалось обслуживание аппаратов в процессе эксплуатации, в том числе промывка или очистка теплообменной поверхности от отложений.

*А.А. Саммур, студ.; О.В. Комаров, к. т.н, доц.  
(УрФУ, г.Екатеринбург)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АДСОРБЦИОННОГО ОХЛАДИТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕПЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Условия окружающей среды влияют на производительность цикла Брайтона. В частности, температура воздуха и относительная влажность являются наиболее важными условиями окружающей среды.

В этой статье мы представляем новую технологию снижения температуры окружающего воздуха. Система называется адсорбционным охлаждением в чиллере. Такие системы могут непосредственно использовать низкосортную тепловую энергию или отработанное тепло, получаемое в результате промышленных процессов, и использовать экологически безопасные хладагенты. Система состоит из трех компонентов, а именно: поставщика горячей воды, поставщика холодной воды, которая поступает из муниципальной сети, и адсорбционного холодильного оборудования. Охладитель, который считается основным компонентом, состоит из четырех меньших частей: адсорбера, испарителя, конденсатора и набора клапанов, которые работают с перерывами в зависимости от того, является ли активный режим адсорбцией или десорбцией. На рисунке 1 показана принципиальная схема одноступенчатого двухслойного адсорбционного охладителя силикагель-вода, предложенного в данном исследовании.



**Рисунок 1** – Принципиальная схема двухслойного адсорбционного охладителя

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

## РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОВОЛЬТАИКИ

Солнечная энергетика - одна из наиболее развивающихся отраслей альтернативной энергетики. В настоящее время самым распространенным способом производства «солнечного электричества» является фотовольтаика - технология непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую. Развитие этого направления идет по пути увеличения КПД фотоэлектрических солнечных элементов (далее просто СЭ), с учетом снижения их стоимости, увеличения срока службы и стабильности работы при различных условиях эксплуатации.

Основным материалом для производства СЭ является кремний. Сейчас кремниевая фотовольтаика, составляет около 90% всего рынка солнечной энергетике. КПД СЭ на основе кристаллического кремния в реальных устройствах составляет — 16–20%. Но несмотря на широкое распространение, они имеют ряд недостатков: высокая стоимость производства, большое количество токсичных отходов и др. [1].

Устранить часть недостатков позволили СЭ второго поколения, основанные на так называемых тонкопленочных технологиях. Такие СЭ изготавливаются из микрокристаллического, поликристаллического или аморфного кремния. Эти СЭ проще в изготовлении, однако, они сохранили недостатки предыдущего поколения: токсичность производства и зависимость работы от условий окружающей среды. КПД таких СЭ в зависимости от материала варьируется от 10% до 30%, но более высокий КПД предполагает очень высокую стоимость СЭ [1].

Следующим этапом в развитии солнечной фотовольтаики стало создание органических СЭ, составляющих третье поколение солнечных батарей — устройств, производимых на основе проводящих полимеров в том числе и органических [1]. Одним из таких материалов является перовскит. В процессе изучения данного соединения ученым на текущий момент удалось достичь КПД СЭ 25% [2]. В настоящее время идут разработки СЭ на базе кремния и перовскита, это позволит еще больше увеличить КПД СЭ.

### Библиографический список

1. Солнечная фотовольтаика: современное состояние и тенденции развития / В. А. Миличко, [и др.]. – УФН, 2016, том 186, номер 8, С. 801– 852. URL: [https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jmid=ufn&paperid=5542&option\\_1ang=rus](https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jmid=ufn&paperid=5542&option_1ang=rus) (дата обращения 06.04.23)
2. Новости университета ИТМО [Электронный ресурс] / URL: <https://news.itmo.ru/ru/science/photonics/news/13147> (дата обращения 08.04.23)

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

## **ВЛИЯНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ТРУБНОЙ СИСТЕМЫ КОНДЕНСАТОРОВ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ТУРБОУСТАНОВОК ЭНЕРГООБЛОКОВ**

Конденсатор - аппарат, создающий при определенных условиях нагрузки турбины и температуры охлаждающей воды глубокий вакуум в выхлопном патрубке турбины и возвращающий чистый деаэрированный конденсат для питания паровых котлов [1, 2].

При эксплуатации конденсаторов турбин наиболее подверженными процессам коррозии являются участки вальцовочных соединений трубок с трубными досками и концевые участки труб. Коррозия может привести к появлению течи, что не только неминуемо повлияет на качество конденсата, но и может привести к сокращению срока эксплуатации агрегатов [1, 2].

Кроме коррозионных повреждений трубки конденсаторов подвержены различным механическим повреждениям [1, 2].

Основной метод борьбы с такими явлениями – «заглушка» дефектных труб. В результате таких мероприятий уменьшается поверхность теплообмена и, как следствие этого, увеличивается давление пара в паровом пространстве конденсатора, что в конечном итоге приводит к ухудшению экономических показателей энергоблока [1,2].

Известно [1, 3], что при постоянном расходе пара в конденсаторе увеличение давления на 1 кПа приводит к изменению ее экономичности для:

- конденсационных установок ТЭС на 1%,
- теплофикационных – на 0,7-0,73%;
- тихоходных турбоустановок АЭС – на 1,28%;
- быстроходных турбоустановок АЭС – на 1,5-2%.

Таким образом, для обеспечения экономичности процесса эксплуатации, следует уделять особое внимание защите элементов конденсаторов от повреждений, в том числе коррозионных.

### **Библиографический список**

1. Теплообменники энергетических установок: учебное электронное издание Екатеринбург, УрФУ, 2015 URL: <https://openedu.urfu.ru/files/book/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0%202.html> (дата обращения 11.03.23)
2. Молочек А.В. Ремонт паровых турбин [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/1193369/page:28/> (дата обращения 11.03.23)
3. Атомные электростанции: учебное пособие / А.М. Антонова, А.В. Воробьев; ТПУ.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 275 с

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ТУРБИНЫ К-300-240

В процессе эксплуатации турбины происходит износ ее элементов и накопление усталости металла, в следствии чего появляется необходимость ее капитального ремонта. Для оценки ремонта производится расчет улучшения экономичности ТГ №6.

Таблица 1 – Расчет улучшения экономичности после КР-2020 ТГ №6 ЦВД

№ п/п	Наименование параметров	До к.р.; %	После к.р.; %	$\Delta$
1.	$\eta_{oi}^{ЦВД}$ опыт№1	80,554	81,072	0,518
2.	$\eta_{oi}^{ЦВД}$ опыт№2	80,615	81,103	0,488
3.	$\eta_{oi}^{ЦВД}$ опыт№3	80,328	80,88	0,552
4.	Среднее значение $\eta_{oi}^{ЦВД}$ №№1,2,3	80,499	81,018	0,519

Таблица 2 – Расчет улучшения экономичности после КР-2020 ТГ №6 ЦСД

№ п/п	Наименование параметров	До к.р.; %	После к.р.; %	$\Delta$
1.	$\eta_{oi}^{ЦСД}$ опыт№1	88,291	88,808	0,517
2.	$\eta_{oi}^{ЦСД}$ опыт№2	88,379	88,878	0,499
3.	$\eta_{oi}^{ЦСД}$ опыт№3	88,147	88,692	0,545
4.	Среднее значение $\eta_{oi}^{ЦСД}$ №№1,2,3	88,272	88,793	0,52

Параметры до капитального ремонта:

- электрическая мощность турбины  $N_{эл} = 299,9$  МВт;
- полный расход тепла  $Q_0 = 586773,82 \cdot 10^3$  ккал;
- удельный расход тепла на турбоагрегат «брутто» в номинале  $q_{т}^{прив} = 1926,86$  ккал/кВт.

Учитывая и принимая к расчету все поправки после капитального ремонта получаем следующие показатели:

- электрическая мощность турбины  $N_{эл} = 301,3$  МВт;
- полный расход тепла  $Q_0 = 572708,32 \cdot 10^3$  ккал;
- удельный расход тепла на турбоагрегат «брутто» в номинале  $q_{т}^{прив} = 1916,65$  ккал/кВт.

Сокращение удельного расхода тепла на турбину составляет  $\Delta b_3 = 1,69$  г.у.т./кВт·ч.

Изменение КПД турбоагрегата в целом составляет:  $\Delta \eta_{ту} = 0,374\%$ .

Изменения удельного расхода условного топлива на производство электроэнергии и эффект от капитального ремонта ЦВД и ЦСД составляет:  $\Delta b_3 = \Delta \eta_{ту} \cdot b_3 / 100 = 1,19$  г.у.т./кВт·ч.

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

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ТУРБИНЫ К-300-240 КОСТРОМСКОЙ ГРЭС

Цель модернизации: возобновление ресурса основных высокотемпературных узлов турбин, обновление оборудования с одновременным повышением технико-экономических показателей и продление срока эксплуатации, повышение надёжности и эксплуатационных характеристик отпуска тепловой и электрической энергии. На турбине К-300-240 Костромской ГРЭС, ст. № 4, 7, 8 произведена модернизация проточных частей ЦВД и ЦСД направленная на увеличение номинальной мощности до 327,5 МВт при расходе свежего пара 990 т/ч; После модернизации турбина маркируется как К-330-23,5-8МР. В результате модернизации выполняются следующие работы:

1. Работы по модернизации ЦВД; замена наружного корпуса ЦВД; замена внутреннего корпуса ЦВД на новый внутренний корпус реактивным облопачиванием и комплектом направляющих лопаток; замена РВД на ротор с реактивным облопачиванием; замена аппарата направляющего; замена обойм правого потока на обоймы реактивного облопачивания с комплектом направляющих лопаток; установку сотовых надбандажных уплотнений; изменение схемы парораспределения ЦВД с переходом на четыре регулирующих клапана.

2. Работы по модернизации ЦСД: замена наружного корпуса ЦСД (передняя часть); замена наружного корпуса ЦСД (задняя часть); замена крышки выхлопной части ЦСНД; замена корпуса выхлопной части ЦСНД; комплектная замена коробок клапанов ЦСД; замена ротора СД; замена проточной части ЧСД ЦСД; замена проточной части ЧНД ЦСД.

Благодаря реконструкции удалось добиться номинальной мощности турбины 330 МВт (таблица 1).

**Таблица 1** – Параметры после реконструкции

Показатель	Величина показателя
Частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	50 (3000)
Давление острого пара, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	23,54 (240)
Температура острого пара, °С	540
Давление пара после ЦВД, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	4,05 (41,31)
Температура пара после ЦВД, °С	286,8
Давление пара перед ЦСД, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	3,67 (37,47)
Температура пара перед ЦСД, °С	540
Давление в конденсаторе, кПа (кгс/см <sup>2</sup> ) абс.	2,8 (0,029)
Расход охлаждающей воды в конденсатор, т/ч	36000
Расход пара на турбину, кг/с (т/ч)	275 (990,0)

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

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В Г. ИРКУТСК ОТ ИРКУТСКОЙ ТЭЦ-10**

По состоянию на 2022 год в разработке находится проект «Юг», предусматривающий подключение дополнительной тепловой нагрузки к Иркутской ТЭЦ-10, расположенной в г. Ангарск. На первом этапе планируется выполнить строительство тепломагистрали от ТЭЦ-10 до п. Малая Еланка (находится за пределами г. Иркутск) для подключения перспективных тепловых нагрузок новых потребителей с суммарной договорной тепловой нагрузкой 120 Гкал/ч. На втором этапе реализации проекта «Юг» рассматривается возможность продлить тепломагистраль от п. Малая Еланка до котельной Северного промузла (КСПУ) в г. Иркутск для переключения тепловой нагрузки существующих потребителей котельной на Иркутскую ТЭЦ-10 с переводом котельной СПУ в пиковый режим работы.

1 этап (подключение перспективной застройки в п. М. Еланка):

- новое строительство тепломагистрали от Иркутской ТЭЦ-10 до п. М. Еланка диаметром 600-800 мм и длиной 13,4 км;
- строительство на территории ТЭЦ-10 насосной станции на подающем трубопроводе производительностью 4000 м<sup>3</sup>/ч.

2 этап (переключение тепловой нагрузки КСПУ на ТЭЦ-10):

- новое строительство тепломагистрали от п. М. Еланка до КСПУ в г. Иркутск диаметром 800 мм и длиной 6,9 км;
- строительство насосных станций на подающем и обратном трубопроводах новой тепломагистрали диаметром 800 мм в районе отвода на п. М. Еланка производительностью 4000 м<sup>3</sup>/ч.

Все основное оборудование Иркутской ТЭЦ-10 выработало паркочный ресурс. В связи с этим планируются мероприятия по проведению экспертиз промышленной безопасности и продлению ресурса генерирующего оборудования Иркутской ТЭЦ-10.

Среднегодовые темпы прироста потребления электроэнергии и мощности за 2022- 2027 годы составляют 3,09% и 2,37% соответственно. Сделан вывод о нецелесообразности реализации второго этапа проекта «Юг» в период до 2030 года по причине отсутствия резерва тепловой мощности на Иркутской ТЭЦ-10. Блоки оборудованы конденсационными турбинами К-150, не предназначенными для выдачи тепла в режиме работы с номинальной электрической мощностью.



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

## **СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПАО "САТУРН"**

Несмотря на газификацию крупных городов в них по-прежнему эксплуатируются мазутные и угольные котельные, которые обладают высокой себестоимостью производства тепловой энергии, а также способствуют загрязнению окружающей среды.

В г. Омск к таким котельным относится мазутная котельная ПАО «Сатурн», которая осуществляет отпуск тепла на технологические нужды производственного объекта.

В целях снижения валового выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов ПАО «Сатурн» планируется произвести технологическое присоединение к системам теплоснабжения АО «Омск РТС» и вывод котельной предприятия из эксплуатации. Новым источником теплоснабжения станет ТЭЦ-5.

В результате реализации указанного мероприятия планируется снизить валовый выброс загрязняющих веществ на 314,49 тонн, в том числе: по диоксиду азота на 57,08 тонн, оксиду азота - 57,146 тонн, саже - 12,231 тонн, оксиду углерода - 70,719 тонн, бензапирену - 0,00007 тонн (полное исключение выбросов), мазутной золе - 0,412 тонн.

В качестве дополнительных положительных следствий реализации мероприятия можно выделить: увеличение загрузки теплофикационного оборудования ТЭЦ-5, снижение удельных расходов условного топлива на производство тепловой и электрической энергии оборудования ТЭЦ-5, снижение стоимости тепловой энергии, потребляемой на технологические нужды ПАО «Сатурн».

Для безусловной реализации данного мероприятия выполнен расчет гидравлических режимов работы существующей тепловой сети ТЭЦ-5, разработан комплекс мероприятий по строительству новой тепловой сети до производственной площадки ПАО «Сатурн», выполнен гидравлический режим работы сети после переключения нагрузки закрываемой котельной.

А.В. Бугрова, студ.; рук. О.И. Угрюмова, ст. преп.,  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАКРЫТИЯ УГОЛЬНЫХ И МАЗУТНЫХ КОТЕЛЬНЫХ В КАЛИНИНГРАДЕ

В Калининграде эксплуатируется большое количество угольных и мазутных котельных. Для улучшения экологической ситуации в городе планируется вывод из эксплуатации 19 угольных и 1 мазутной котельных. Также будет осуществлён перевод на природный газ 5 котельных (4 угольных и 1 мазутной).

Эти мероприятия проводятся с целью снижения выбросов. Результаты расчётов показывают, что образование золы сократится на 2394,352 т/год, шлака на 0,86 т/год. Выбросы в окружающую среду уменьшатся на 1478,6172 т/год от угольных котельных и на 187,065 т/год от мазутных котельных.

**Таблица 1 – Прогноз снижения вредных выбросов**

Тип основного топлива	Каменный уголь	Мазут
Вывод из эксплуатации	19	4
Перевод на природный газ	1	1
Количество образования отходов от сжигания, т/год	2394,352	0,86
Снижение выбросов в окружающую среду, т/год:		
Азота диоксид (Двуокись азота; пероксид азота)	95,563	11,142
Азот (II) оксид (Азот монооксид)	13,814	2,181
Углерод (Пигмент черный)	349,71	3,874
Сера диоксид	188,321	153,043
Углерода оксид (Углерод окись; углерод моноокись; угарный газ)	520,123	16,443
Мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий)	-	0,351
Другие специфические вещества	0,1	0,03
Бенз/а/пирен	0,0392	-
Летучие органические соединения (ЛОС)	0,008	0,001
Пыль неорганическая: 70 – 20 % SiO <sub>2</sub>	310,939	-
<b>ИТОГО:</b>	<b>1478,6172</b>	<b>187,065</b>

*В.А. Бурик, студ.; рук. И.А. Кокулин, ассистент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ АО "ТГК-11"

Несмотря на газификацию крупных городов в них по-прежнему эксплуатируется мазутные и угольные ТЭЦ и котельные, которые способствуют загрязнению окружающей среды.

АО «ТГК-11» эксплуатирует в г. Омске две угольные станции: ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5.

Комплекс мероприятий по реконструкции систем отчистки дымовых газов и золоотвалов на источниках тепловой энергии приведет к снижению объемов выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, сбросов вредных (загрязняющих) веществ на водосборные площади, в поверхностные и подземные водные объекты, и минимизации воздействия на окружающую среду от размещения отходов производства.

Таблица 1 – Плановые показатели, характеризующие снижение негативного воздействия на окружающую среду от источников теплоснабжения АО "ТГК-11"

№ п/п	Наименование показателя	Станция	Ед. изм.	Фактические значения	Плановые значения
1	Реконструкция электрофильтра котлоагрегата БКЗ-420-140 ст.№ 7	ТЭЦ-4	мг/нм <sup>3</sup>	> 600	600
2	Реконструкция электрофильтра котлоагрегата БКЗ-420-140-5 ст.№ 6	ТЭЦ-5	мг/нм <sup>3</sup>	> 600	300
3	Реконструкция электрофильтра котлоагрегата БКЗ-420-140 ст. № 8 (техническое перевооружение)	ТЭЦ-4	мг/нм <sup>3</sup>	> 600	600
4	Реконструкция электрофильтра котлоагрегата БКЗ-420-140-5 ст. № 4	ТЭЦ-5	мг/нм <sup>3</sup>	> 600	300
5	Реконструкция электрофильтра котлоагрегата БКЗ-420-140-5 ст. № 2	ТЭЦ-5	мг/нм <sup>3</sup>	> 600	300
6	Реконструкция электрофильтра котлоагрегата БКЗ-420-140-5 ст. № 1	ТЭЦ-5	мг/нм <sup>3</sup>	> 600	300
7	Реконструкция электрофильтра котлоагрегата БКЗ-320-140 ст.№ 4	ТЭЦ-4	мг/нм <sup>3</sup>	> 600	600
8	Реконструкция электрофильтра котлоагрегата БКЗ-420-140-5 ст. № 7	ТЭЦ-5	мг/нм <sup>3</sup>	> 600	300

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

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУРБИНЫ К-300-23,5 ЛМЗ**

В настоящее время в рамках реализации программы ДПМ-2 (КОММод) проводится комплексная модернизация старого генерирующего оборудования с целью повышения эффективности его работы, продления срока службы, снижения затрат на техническое обслуживание и повышения эксплуатационной гибкости.

Одним из наиболее эффективных инновационных предложений модернизации мощных паровых турбин ТЭС является замена ротора ЦВД активного типа на реактивный. Пример – модернизация блоков №4 и №8 Костромской ГРЭС в 2022 г. При модернизации была выполнена замена внутреннего корпуса цилиндра и ротора высокого давления, но при этом регулирующая ступень активного типа сохраняется. Ее наличие необходимо при сопловом способе парораспределения, которое считается наиболее эффективным для турбин, работающих в переменном графике нагрузок.

На практике экономическое преимущество соплового парораспределения в сравнении с дроссельным не однозначно для разного типа турбин. Кроме конструктивных сложностей система парциального подвода пара серьезно снижает КПД регулирующей ступени и провоцирует возникновение нестационарных сил с максимальным 100% изменением усилия, вызывающих вибрацию рабочих лопаток регулирующей ступени. Поэтому сейчас уже нет единой точки зрения о преимуществе соплового парораспределения, кроме того, зарубежные европейские фирмы «Сименс» и АВВ давно применяют дроссельное парораспределение в большинстве своих турбин.

Сравнительные тепловые расчеты, выполненные для ЦВД К-300-23,5 на номинальный и частичный расходы пара, показали, что при расчетном расходе пара наибольший КПД имеет ЦВД с дроссельным парораспределением и реактивным ротором. На частичной нагрузке выше КПД у ЦВД с сопловым парораспределением и реактивным ротором, однако превышение не столь значительно.

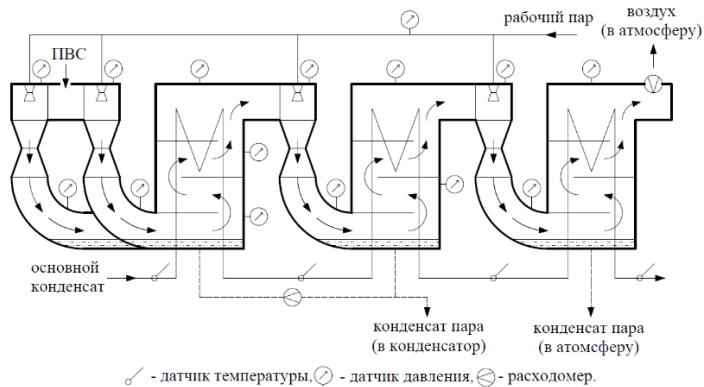
Отмеченные недостатки соплового парораспределения отсутствуют у дроссельного парораспределения. Кроме того, изменяются требования к регулирующим клапанам, их количество может быть уменьшено до двух (вместо семи у К-300-23,5) и можно использовать совмещенные стопорно-регулирующие клапаны современной конструкции с сопротивлением всего 2 % начального давления пара.

Д.Ю. Балакин, асп.; рук. К.Э. Аронсон, д.т.н., проф.  
(УрФУ, УралЭНИИ, г. Екатеринбург)

## СХЕМА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ

Представлена схема измерений для проведения испытаний многоступенчатого пароструйного эжектора (рис.). Данная схема включает в себя 21 точку измерений, в том числе 15 – давления, 4 – температуры и 2 точки измерения массового расхода среды.

Давление измеряется в приемных камерах, за диффузорами, в нескольких точках охладителей первой и второй ступени. Для измерения расхода воздуха на выходе из эжектора применяется расходомерное устройство УрФУ. Количество сконденсированного пара в охладителе первой ступени эжектора измеряется крыльчатим счетчиком воды высокой чувствительности. Для построения трендов параметров разработан портативный 6-канальный измерительный комплекс.



**Рисунок 1** – Схема измерений многоступенчатого пароструйного эжектора

Разработанная схема предназначена для исследования процессов в охладителях эжектора, что связано с рядом обнаруженных ранее эффектов в многоступенчатых струйных аппаратах [1].

### Библиографический список

1. Аронсон К.Э. Особенности разработки и функционирования многоступенчатых пароструйных эжекторов Аронсон К.Э., А. Ю. Рябчиков, Н. В. Желонкин, Д. В. Брезгин, А. Л. Демидов, Д. Ю. Балакин. М.: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, 2023, №4. 5-15 с.

*Е.М. Щаницын, асп.; рук. С.И. Шувалов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г.Иваново)*

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГТУ

Основным типом оборудования, обеспечивающим в настоящее время прирост установленной мощности на тепловых электростанциях России, являются газотурбинные установки (ГТУ). Вместе с очевидными достоинствами ГТУ перед паровыми турбинами (высокая экономичность, большая маневренность, меньшая металлоемкость и стоимость) они обладают также меньшим располагаемым ресурсом и требуют более квалифицированного обслуживания и ремонта. Эти обстоятельства создают повышенный интерес к надежности ГТУ.

Для выявления элементов ГТУ, отказ которых приводит к наиболее существенным потерям, оборудование ГТУ было разделено на группы и собрана информация об отказах этих групп у ГТУ мощностью 35-340 МВт, эксплуатируемых на ТЭС России с 2013 по 2022 гг. Отдельную группу организовала повышенная вибрация, устранение которой решается не путем замены деталей, а балансировкой роторов. Данные об отказах сведены в табл.1.

Таблица 1 – Отказы элементов ГТУ

Группы	Кол-во отказов, шт	Доля от общего, %	Среднее время простоя, час
Система сжигания топлива (КС, форсунки)	45	17,9	29
Система отбора воздуха с компрессора	18	7,2	25,4
Повреждение проточной части	5	2,0	513
САУ и КИП	103	41,0	326
Подшипники	17	6,8	124,8
Фильтры КВОУ с системой подогрева воздуха	5	2,0	153,6
ВНА	3	1,2	16
Вспомогательные системы (охладители, насосы)	38	15,1	49,9
Повышенная вибрация	17	6,8	145
Всего	251	100	

Из представленных данных видно, что наибольшие проблемы для ГТУ России связаны с отказами системы автоматизированного управления и регулирования. Для нее велика доля отказов (41%) и длительное время простоя (326 час). Если не принимать во внимание стоимость ремонтов, то на порядок меньше возникает ущерб от повреждения проточной части и устранения вибрации. Несколько меньше потери от отказов подшипников, вспомогательных систем и систем сжигания. Вклад остальных групп менее существенен.

*А.В. Охлопков, К.С. Никишов, А.П. Титов  
(ПАО «Мосэнерго», г. Москва)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЦЕНТРОВОК ВАЛОПРОВОДА И ДЕФОРМАЦИЙ ФУНДАМЕНТА ГТУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА ТЭЦ-9 «МОСЭНЕРГО»**

Фундаменты, в том числе и виброизолированные, под турбоагрегаты в течение первых лет после сооружения подвержены деформациям, связанным с усадкой массы бетона и неэльтравномерными осадками нижней плиты. Значительное влияние на деформацию строения фундамента оказывают изменения температуры в машинном зале и силовое воздействие со стороны основного оборудования и присоединённых к нему трубопроводов.

После сооружения нового фундамента под турбоустановку ГТУ АЕ64.3А на ТЭЦ-9, верхняя часть которого отделена от нижней колоннами с виброизоляторами, состоящих из упругих пружин и демпферов, было принято решение отслеживать деформацию фундамента, изменение взаимного положения и расцентровки опор газотурбинной установки при эксплуатации.

Было выявлено, что на работающем оборудовании происходит пространственная деформация опорной части фундамента, а также увеличивается чувствительность линии вала ГТУ к перераспределению опорных нагрузок несущей части фундамента на различных режимах работы машины. Анализ замеров, выполненных ВТИ, с помощью разработанного программного комплекса, показал, что линия вала ГТУ весьма чувствительна к деформациям, связанным с перераспределением опорных нагрузок несущей части фундамента, случившихся, например, при переводе пружинных блоков в рабочее положение. Аналогичные явления происходят на различных режимах работы машины и при деформации фундамента. Наибольшие деформации верхней фундаментной плиты при пуске ГТУ наблюдались при взятии активной нагрузки, близкой к номинальной. Дальнейшую работу необходимо направить на исследование влияния редуктора на виброактивность турбоагрегата в целом, в том числе оценить влияние крутильных и осевых колебаний.

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

## **РАЗРАБОТКА ДОПОЛНЕНИЯ К ТИПОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ТУРБОАГРЕГАТА Т-100-130**

Энергетическая эффективность работы турбоагрегата определяется множеством факторов: уровнем тепловых и электрических нагрузок, особенностью тепловой схемы, значениями начальных и конечных параметров, температуры питательной воды и т.д. Для решения задач, требующих расчета технико-экономических показателей работы турбоагрегатов, широкое применение получили энергетические характеристики, выражающие функциональную зависимость между электрической нагрузкой, расходом теплоты на турбину и тепловой нагрузкой при номинальных значениях остальных параметров. Отклонения значений остальных параметров от номинальных в рассматриваемых режимах учитывается поправочными зависимостями, являющихся неотъемлемой частью энергетических характеристик.

Реализация мероприятий по реновации и модернизации парка турбоагрегатов сопровождается изменениями, вносимыми, как в конструкции самих турбин, так и в их тепловые схемы. Уральским турбинным заводом разработаны комплекты модернизаций на широкий модельный ряд турбин собственного и стороннего производства, среди которых турбины серий Т-100, Т-250, ПТ-60, ПТ-80, ПТ-135 и т.д., позволяющие продлить ресурс работы оборудования, а также повысить экономичность надежность и ремонтпригодность [1].

В тех случаях, когда изменения затрагивают тепловую схему, например, организация отборов пара для собственных нужд ТЭЦ от турбоагрегата Т-100-130, для расчета технико-экономических показателей с использованием энергетических характеристик [2] требуется разработка дополнительных поправочных зависимостей. Для решения этой задачи предлагается использовать метод, предложенный М.И. Щепетильниковым [3] и нормативные методики [4].

### **Библиографический список**

1. Уральский турбинный завод: офиц. сайт. – URL: <https://www.utz.ru/> (дата обращения: 14.04.2023).
2. РД 34.30.716 Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата Т-100-130.
3. Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И. Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС М.: Энергоиздат, 1982
4. МТ 34-70-027-86. Методика расчета поправок к мощности, расходу свежего пара и удельному расходу теплоты на отклонение параметров и условий от номинальных для турбоагрегатов с регулируемыми отборами пара.



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

## **УТИЛИЗАЦИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ РАСТЕНИЙ**

Накопление  $\text{CO}_2$  в атмосфере признано одной из ключевых проблем, активно обсуждаемых учеными, политиками и СМИ. Основное внимание при этом сконцентрировано на его способности влиять на глобальный климат. С целью сокращения выбросов парниковых газов, разрабатываются методы экономического воздействия на источники этих выбросов. Энергетическая отрасль, которая в своем большинстве для производства тепла и электричества, использует углеродосодержащие топливо становится уязвимой, в связи с чем помимо развития возобновляемых источников энергии делается упор на водородную энергетику.

В ближайшей перспективе сжигание углеродосодержащего топлива будет оставаться доминирующим способом получения энергии. Нужно искать дополнительные методы снижения  $\text{CO}_2$ . Основным потребителем  $\text{CO}_2$  является растительный мир, под воздействием процесса фотосинтеза, процесса преобразования атмосферного углерода  $\text{CO}_2$  в зеленую массу растений. Для фотосинтеза требуется свет и вода. Все факторы являются обязательными, отсутствие любого из них сделает этот процесс невозможным. В тепловой энергетике все эти факторы могут быть эффективно использованы.  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  получается при сжигании природного газа, при этом температура уходящих газов достигает 90-130°C, при конденсации паров  $\text{H}_2\text{O}$ , появляется и вода и тепло. Повышенное содержание  $\text{CO}_2$ , как источника глобального потепления, целесообразно использовать для увеличения скорости процесса фотосинтеза, что позволит получить дополнительную зеленую массу и кислород.

Эффективное использование дымовых газов в энергетике, может решать ряд задач: снижение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, увеличение скорости роста, размера и биомассы растений, непосредственно влияющих на урожайность и, как следствие оказать непосредственное влияние на хозяйственную деятельность человека, состояние окружающей среды и даже на региональный климат.

Использование уходящих газов котлов, может эффективно использоваться в тепличных хозяйствах.

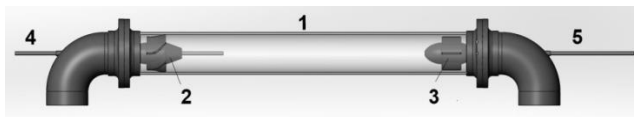
*Е. Д. Гильмутдинов, асп.; рук. С. Д. Горшенин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА С ПРЯМОТОЧНЫМ ДЕАЭРАТОРОМ

Термические деаэраторы типа АВАКС являются прямоточными вакуумно-атмосферными кавитационно-струйными деаэрационными устройствами, работающими за счет начального эффекта. Они отличаются компактностью, простотой эксплуатации, поскольку не требуют подачи греющего пара, но при этом обладают малой эффективностью по удалению из воды коррозионно-активных газов [1, 2].

Несмотря на простоту конструктивного исполнения, деаэратор типа АВАКС является до сих пор малоизученным аппаратом. Это приводит к многочисленным ошибкам, допускаемым при проектировании, и негативному опыту промышленного их внедрения в технологические схемы энергетических предприятий.

Решение задачи по поиску адекватных аналитических зависимостей эффективности деаэрации от режимных и конструктивных факторов, а также по определению границ применимости деаэрационных аппаратов данного типа невозможно выполнить без проведения многофакторных экспериментальных исследований. Для решения поставленной задачи разработан экспериментальный стенд с проточным деаэратором типа АВАКС, работающий на замкнутый контур с баком-аккумулятором. Отсос выпара из активной зоны деаэратора осуществляется водоструйным эжектором. Модель проточной части деаэратора приведена на рис. 1.



**Рисунок 1** – Модель деаэратора типа АВАКС: 1 – прозрачная труба; 2 – направляющий аппарат; 3 – выходной обтекатель со спрямляющим аппаратом; 4 – линия измерения давления; 5 – линия отсоса выпара.

### Библиографический список

1. Шатова И.А., Барочкин Е.В., Ледуховский Г.В. Выбор схемы включения прямоточных деаэрационных устройств // Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования: материалы IV Рос. науч.-практич. конф. – Иваново, 2005. – С. 63–65.
2. Ледуховский Г.В. Реконструкция атмосферных струйных деаэраторов с применением кавитационных деаэрационных устройств «АВАКС» / Г.В. Ледуховский, В.Н. Виноградов, И.А. Шатова, А.А. Разенков // Вестник ИГЭУ, 2014, вып. 6. с. 5-10.

*А.Ю. Степанов, студ.; рук. О.В. Боруи, д.т.н., доц.  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

## **ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ КОТЕЛЬНОЙ Г. НОВОСИБИРСКА**

В Новосибирске преобладает централизованное теплоснабжение от теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), которые обеспечивают около 61 % бытовых и промышленных потребителей. Новосибирские тепловые станции используют в качестве топлива бурый и каменный угли для генерации тепловой и электрической энергии. Кроме ТЭЦ используются районные и промышленные котельные, работающие на угле и природном газе для обеспечения потребителей тепловой энергией. На балансе Новосибирска около 250 котельных при этом 160 малых и мелких [1]. Основная доля котельных находится около жилых домов.

Тенденции будущего направлены на развитие малой генерации в Российской и мировой энергетике из-за огромного потенциала, представляющего совместную выработку тепла и электроэнергии [2]. В Новосибирске имеются все условия для создания мини-ТЭЦ:

1. Котельная должна быть отопительная и работать на газу.

2. Интервал тепловой нагрузки котельной должен располагаться в пределах от 20 до 100 Гкал/ч.

С помощью вырабатываемой электроэнергии можно покрыть:

1. Собственные нужды котельной.

2. Собственные нужды котельной и отправить на трансформаторную подстанцию удвоенное значение собственных нужд.

3. Собственные нужды котельной и отправить по новым построенным линиям на трансформаторную подстанцию  $N \leq 25$  МВт.

При анализе котельных г. Новосибирска было выделено три наиболее подходящих варианта: котельная №35 с  $Q_T = 92$ , Гкал/ч, котельная АО «Сибирьгазсервис»  $Q_T = 82,55$  Гкал/ч и котельная ООО «Потенциал-Плюс»  $Q_T = 63$  Гкал/ч.

В качестве установок для генерации электроэнергии на мини-ТЭЦ можно использовать газопоршневые установки, газотурбинные установки, паровинтовые машины и паровые турбины малой мощности.

### **Библиографический список**

1. Схема теплоснабжения города Новосибирска до 2033 года (актуализация на 2023 год) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.degkh.ru/shema-ts/> (Дата обращения: 10.03.2023).
2. Хохлов А.А., Мельников Ю.А., Веселов Ф.В., Холкин Д.А., Дацко К.А. Распределенная энергетика в России: потенциал развития. – М.: СКОЛКОВО, 2018. – 89 с.

*А.А. Ухлин, асп.; рук. В.И. Брезгин, д.т.н., проф.  
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАМЕРЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ОТБОРА ПАРА ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ**

В настоящее время в связи с активным внедрением ВИЭ и высокоэффективных тепловых электрических станций, работающих в цикле ПГУ в базовом режиме, всё более остро становится вопрос по регулированию электрической мощности сети. В практике отечественной энергетики всё чаще для решения этой проблемы в летний период используются теплофикационные турбины. Однако, теплофикационные турбины в силу конструктивных особенностей спроектированы на обеспечение наивысшей экономичности при работе на номинальных режимах с регулируемыми отборами пара [1].

Одной из основных отличительных особенностей паровых турбин с регулируемыми отборами пара является наличие камеры отбора с большим объёмом парового пространства. Наличие большой камеры отбора характеризуется значительными потерями выходной скорости потока из предотборной ступени, а также потерями связанными с образованием и поддержанием вихревого движения в паровом пространстве камеры, потерями на трение и теплообмен потока. Данные потери оказывают существенное влияние как на предотборные, так и послепредотборные ступени на конденсационных режимах работы. Традиционно, для снижения данных потерь применяются различные конструкции дефлекторов на входе в канал в прикорневой зоне.

В рамках работы по повышению эффективности паровых турбин производства АО «УТЗ» с помощью средств математического моделирования пакетов CREO Parametric и ANSYS была проведена оценка эффективности применения дефлектора в периферийной зоне. Применительно к одноцилиндровой турбине Т-60/65-8,8 УТЗ расчётно получен прирост внутреннего относительного КПД турбины 0,4% (260 кВт) на максимальном конденсационном режиме.

Результаты показали целесообразность дальнейшего рассмотрения данной темы и разработки конструкции для возможного внедрения на производстве.

### **Библиографический список**

1. Ukhlin A. A., Stepanov M. Yu., Shibaev T. L., “Unique Projects of Steam Turbines at AO Ural Turbine Works for Industrial Power Generation”, Thermal Engineering, 2020, Vol. 67, No. 12, pp. 909-915.

**СЕКЦИЯ 2**

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

Председатель

к.т.н., доцент **Еремина Н.А.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Зайцева Е.В.**

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

## **ОГРАНИЧЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ИВАНОВО**

В соответствии с ФЗ № 296 «Об ограничении выбросов парниковых газов» необходимо снизить уровень выбросов парниковых газов (ПГ), к которым относятся  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ . К предприятиям, выбросы ПГ которых составляют более 150 тыс. т  $\text{CO}_2/\text{год}$ , в настоящее время уже применяются меры государственного регулирования.

Основными источниками выброса ПГ в атмосферный воздух в г. Иваново являются ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3, ЖКХ (котельные №37, №19 и №23) и транспорт. Также к увеличению ПГ в воздухе ведет сокращение площади лесов.

Цель данной работы – рассчитать выбросы парниковых газов на территории города Иваново за 2022 г, а также определить способность лесных массивов, окружающих город, к поглощению  $\text{CO}_2$ .

Расчет производился в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ №371 от 27 мая 2022 г. «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов».

Выбросы  $\text{CO}_2$  от сжигания топлива на ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 и котельной №37 составляют 478701, 506811 и 174248 т  $\text{CO}_2/\text{год}$ , соответственно, следовательно, к этим организациям необходимо применять меры по ограничению выбросов ПГ. Выбросы  $\text{CO}_2$  от сжигания топлива на котельных №19 и №23 составляют 30229 т и 48656 т  $\text{CO}_2/\text{год}$ , соответственно, это говорит о том, что на данном этапе нет необходимости применять меры по ограничению выбросов ПГ к этим предприятиям.

В среднем в городе Иваново насчитывается более 130 тыс. легковых автомобилей и около 2100 грузовых. Выбросы  $\text{CO}_2$  от сжигания топлива в двигателях всех видов автотранспортных средств составляют около 370 тыс. т  $\text{CO}_2/\text{год}$ .

Площадь, занимаемая лесами в самом г. Иваново и вокруг него, составляет около 62 тыс. га, хвойные и лиственные леса поглощают в среднем 62 и 100 тыс. т  $\text{CO}_2/\text{год}$ , что не покрывает выбросы ПГ от электростанций, котельных и автотранспорта. Следовательно, необходимо снижать выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферный воздух и увеличивать площадь лесов.

*Д.О. Лебедева, маг.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДОЧИСТКИ ВПУ ПТС ИРИКЛИНСКОЙ ГРЭС**

Ириклинская ГРЭС является самой мощной электростанцией на Южном Урале. В структуре станции 8 энергоблоков суммарной мощностью 2430 МВт. Электрическая станция предназначена для выработки электроэнергии и продажи ее на оптовом рынке, а также снабжение теплом потребителей поселка Энергетик.

Вода на электростанциях используется для заполнения контура паротурбинной установки и компенсации потерь пара и конденсата во время работы, подпитки тепловых сетей, а также для отвода теплоты в конденсаторах турбин и вспомогательных теплообменниках.

Для восполнения потерь воды в системе теплоснабжения Ириклинской ГРЭС и поселка Энергетик химическим цехом используется ВПУ в составе Na-катионитных фильтров для умягчения воды. В соответствии с [1] обработка воды для восполнения потерь в системах открытого теплоснабжения должна проводиться с использованием технологий предварительной очистки, в том числе, коагуляции, которая на Ириклинской ГРЭС предусмотрена, однако по причинам недостаточной технологической эффективности в проектном режиме не используется.

Для реализации коагуляционной обработки воды теплосети были рассмотрены три варианта предочистки с использованием альтернативного оборудования предочистки – осветлителей и сохранением действующих механических фильтров, а также Na-катионитных фильтров.

В качестве оборудования предочистки рассмотрены: осветлитель Actiflo (аналог – ВТИ-М), ЦНИИ-3, а также установка ультрафильтрации (УУФ) для расчета их сравнительных характеристик.

Проведя соответствующие расчеты и сравнив полученные результаты предложенного оборудования для осветления воды, осветлитель Actiflo оказался наиболее выгодным, так как у данного варианта: меньший расход воды на собственные нужды; меньший расход тепловой энергии на собственные нужды и производство; меньший вклад предочистки в себестоимость ХОВ.

### **Библиографический список**

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьево-

го водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.

*Р.И. Гильмутдинова, студ.; рук. Б.А. Гильфанов, асс.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **УДАЛЕНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЭС**

Организация водно-химического режима является важным компонентом обеспечения надежной и экономичной работы теплоэнергетического оборудования. В воде присутствуют вещества, соединения которых мешают полному функционированию теплоэлектростанций. Задачей водного режима является устранение отложений и минимизирование их скорости образования.

Появление отложений в экранных трубах и количество выделяемых элементов таких как цинк, медь зависят от рН среды, концентрации компонентов. Самыми трудноудаляемыми отложениями являются соединения кремния, которые сложно удалить даже кислотами. При высоких температурах в котле образуются коллоидные соединения кремния, которые откладываются в виде нерастворимых осадков. Наиболее сложно удалить соединение- диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ . Оно может образоваться при низкой щелочности воды. Для наиболее тщательного удаления отложений используют ультрафильтрацию, которая объединяет в себе процесс мембранного разделения и концентрирование растворов. Наряду с ультрафильтрацией также используется обратный осмос, предполагаемый удаление кремния посредством прохождения молекул воды через полупроницаемую мембрану, при этом нерастворимые частицы задерживаются на мембране, после чего они удаляются из воды. В связи с тем, что кремниевые отложения могут возникать как при высоких, так и при низких рН, то приходится корректировать водородный показатель. При использовании этого метода нужно учитывать наличие в воде катионов железа и алюминия. При их высоком содержании могут возникнуть более сложные соединения, также не подвергающиеся разложению.

Таким образом, организация водно-химического режима помогает прослужить теплоэнергетическому оборудованию более долгий срок.

### **Библиографический список**

**1. Пригун И.В.** Технологии очистки воды от кремния. Проблемы и особенности / И. В. Пригун, М. С. Краснов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2009. – № 9(21). – С. 22-28. – EDN KZCDOP.



Гусева Ю.А. студ.; рук. к.х.н., доц. Хрипкова Л.Н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ НИКЕЛЯ МЕТОДОМ БУМАЖНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Никель - малоактивный химический элемент. В воду попадает при сжигании ископаемого топлива, из почвы (при распаде живых организмов), из сточных вод предприятий. Так же никель встречается в воде вблизи месторождений цветной руды. Согласно СанПиН, допустимая концентрация  $Ni^{2+}$  в питьевой воде составляет: 0,1 мг/л. Наличие ионов никеля в водах станций нежелательно сказывается на внутренне состоянии труб. Представлен способ качественного и количественного определения содержания ионов никеля в воде методом бумажной хроматографии.

В основе метода лежит реакция Л.А. Чугаева - осаждение никеля диметилглиоксимом в слабокислом растворе в виде комплексного соединения  $Ni(C_4H_7N_2O_2)_2$  по реакции (1):



Даже при небольших количествах никеля осадок диметилглиоксимата никеля быстро коагулирует и легко образует красный осадок.

На хроматографическую бумагу, пропитанную диметилглиоксимом, наносят калиброванные капли стандартных растворов сульфата никеля. В результате на поверхности носителя (неподвижная фаза) протекает химическая реакция (1). Под действием подвижной фазы проявителя в зависимости от концентрации образовавшегося осадка образуются пики движения. Высота пика (фронт движения избыточного количества ионов никеля в капле по отношению к неподвижной фазе диметилглиоксима) на хроматограмме зависит от содержания ионов никеля в капле раствора.

В работе было проведено ряд параллельных опытов для получения статистического набора данных и определения доверительного интервала полученных значений в рамках проводимого эксперимента.

Было замечено, что зависимость имеет характер прямой линии и отвечает графику функции  $y=ax+b$ .

### Библиографический список:

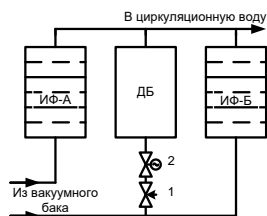
1. Шаповалова, Е. Н. Хроматографические методы анализа: методическое пособие для специального курса / Е. Н. Шаповалова, А. В. Пирогов; под. ред. О. А. Шпигуна. - Москва: МГУ им. Ломоносова, 2007. - 205 с.

*А.И. Ломакин, студ.; рук Б.М. Ларин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г.Иваново)*

## УСТАНОВКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ NaOH В ЦИРКУЛЯЦИОННУЮ ВОДУ

Для заполнения системы охлаждения статора (СОС) на энергоблоках тепловых электростанций используется глубоко обессоленная вода (турбинный конденсат после блочной обессоливающей установки БОУ), не содержащая аммиака. Но в условиях эксплуатации энергоблоков ТЭС не всегда удается выдерживать нормы качества охлаждающей воды СОС [1] и минимизировать коррозионные процессы на медных элементах, контактирующих с водой.

В работе [2] представлена установка автоматизированной системы дозирования NaOH в циркуляционную воду по заданному значению удельной электропроводимости для поддержания требуемого значения pH, суть которой состоит в следующем. Для обеспечения автоматизированной дозировки NaOH по схеме на рисунке 1 перед дозировочным бачком (ДБ) устанавливается регулирующий клапан и вслед за ним запорный клапан с автоматическим приводом. Сигнал об открытии – закрытии клапана должен поступать от кондуктометра, штатно установленного на общей линии охлаждающей воды после статора генератора. При снижении удельной электропроводимости до 1,0 мкСм/см клапан должен открываться, при увеличении до 2,0 мкСм/см – закрываться.



**Рисунок 1** – Установка автоматизированной системы дозирования NaOH в циркуляционную воду:

ДБ – дозировочный бачок; ИФ-А,Б – ионообменные фильтры; 1- клапан регулирующий; 2- запорный клапан с автоматическим приводом.

Предложенное решение обеспечит поддержание нормируемого значения pH охлаждающей воды в диапазоне 6,5-9,0 единиц pH.

### Библиографический список

1. **Об организации** водно-химического режима системы охлаждения обмоток статоров турбо- и гидрогенераторов. – М.: СПО ОРГ-РЭС, 1985.
2. **Ларин Б.М.** Измерения электропроводимости и pH в системах мониторинга водного режима ТЭС / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2014. С.256–262.

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

## **РАЗРАБОТКА РЕГЛАМЕНТА ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОДЕОНИЗАЦИИ**

Установка электродеионизации (УЭДИ) широко используется при водоподготовке на ТЭС и АЭС и позволяет непрерывно получать глубокообессоленную воду [1]. В процессе её эксплуатации, из-за образования на мембранах осадков различного происхождения происходит постепенное повышение перепада давления на модулях и удельной электропроводности очищенной воды. При увеличении значений этих показателей более чем на 25–50 % от рабочих значений, проводится химическая промывка, которая проводится при отсутствии подвода электроэнергии на модули.

Были выполнены исследования действующей УЭДИ на Няганской ГРЭС, в ходе которых определён регламент проведения эффективной химической промывки – определена последовательность этапов, используемые реагенты, а также необходимые их концентрации и расходы пропускаемых растворов.

Химическая промывка модулей УЭДИ проводится в несколько этапов. На первом этапе пропускается 5%-ый раствор хлорида натрия (NaCl), при этом выводятся из модулей минеральные осадки, прежде всего содержащие ионы кальция и магния. На втором этапе подается промывочный раствор, содержащий 1%-ый едкого натра (NaOH) и 5%-ый хлорид натрия (NaCl), который эффективно удаляет органические загрязнения. После этого модули УЭДИ отмываются обессоленной водой. Следующим этапом является стадия циркуляции 2%-го раствора соляной кислоты (HCl), при этом удаляются неорганические осадки и оксиды металлов. После кислотной промывки должна осуществляться отмывка установки водой до  $pH=3,0$ . Завершающим реагентным этапом промывки является пропуск 5%-го раствора хлорида натрия (NaCl), при этом вымывается промывочный раствор из модулей, и ионообменная смола переходит в натриевую и хлоридные формы. После пропуска через модули УЭДИ растворов реагентов осуществляется их отмывка обрабатываемой водой.

Разработанный регламент показал высокую эффективность очистки УЭДИ и восстановления её рабочих характеристик.

### **Библиографический список**

1. Бушуев Е.Н. Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов: Учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева // ФГБОУВО «Ивановский

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

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

## РЕАГЕНТНОЕ УДАЛЕНИЕ ДУРНОПАХНУЩИХ ВЕЩЕСТВ НА СООРУЖЕНИЯХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Одной из существенных проблем в технологии очистки сточных вод является образование дурнопахнущих веществ (ДПВ) в системах транспортировки, очистки и складирования осадков. Появление ДПВ в системах очистки сточных вод напрямую связано с процессами анаэробного разложения органических веществ с образованием таких продуктов как сероводород, меркаптаны и т.д.

Технология очистки сточных вод от ДПВ показана на примере 3-й очереди БОС МУП «Домодедовский водоканал». Сточные воды очищаются по традиционной технологии. Обработка осадков производится на иловых площадках путем длительной выдержки. Далее высушенный осадок направляется на утилизацию.

В данной работе представлены результаты опытно-промышленных испытаний нового отечественного реагента «ВТИАМИН СТ-15». По окончании проведения испытаний было произведено вскрытие подсушенного осадка на обработанной и необработанной секциях.

Определяемый показатель	ПДК, мг/дм <sup>3</sup>	Обработанная секция	Необработанная секция
Сероводород	0,008	<0,004	0,094
Метилмеркаптан	0,006	<0,003	0,660

В результате анализа и обработки полученных данных в ходе опытно-промышленных испытаний была доказана эффективность применения реагентной обработки осадков сточных вод с использованием «ВТИАМИН СТ-15».

### Библиографический список

1. Реагентное удаление дурнопахнущих веществ на сооружениях очистки сточных вод / Е.Ф. Нартя, В.В. Козловский, А.М. Хоменков, А.А. Зидиханова, А.В. Козлов, А.И. Вялова, А.Б. Ларин // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 10. – с. 48-55.

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ НА СМОЛЕНСКОЙ АЭС

Водоподготовка на АЭС предназначена для получения глубокообессоленной воды, которая используется для восполнения потерь водяного пара и конденсата в основном контуре. Водоподготовительная установка (ВПУ) на Смоленской АЭС включает традиционные стадии химического обессоливания воды: осветлители, механические фильтры, двухступенчатое Н-ОН-ионирование и фильтры смешанного действия. В качестве исходной воды для этой ВПУ выступает вода из реки Десна, которая характеризуется низкой минерализацией. Первоначально в осветлителях проводился процесс коагуляции сульфатом алюминия для удаления из природной воды коллоидных (органических) веществ.

В настоящее время в ОН-анионитных фильтрах I-ой ступени вместо отечественного ионита используются слабоосновные гелевые аниониты с акриловой матрицей Purolite A-845 и A-847. Эти фильтрующие материалы характеризуются высокой эффективностью удаления из обрабатываемой воды анионов сильных кислот, также и органических веществ (например, для анионита А-845, в начале фильтроцикла степень очистки составляет ~99 %, в конце – 85 %) с последующим практически полным обратным вымыванием этих загрязнений в процессе регенерации [1]. Использование анионитов, обладающих значительной органоемкостью, позволило отказаться от коагуляции исходной воды, а осветлители используются в качестве ёмкости запаса исходной воды, при этом обеспечивается стабильная работа ВПУ с получением высококачественной глубокообессоленной воды.

Отказ от дозировки в исходную воду коагулянта позволило снизить на 40–50 % ионную нагрузку на ОН-анионитные фильтры I-ой ступени, уменьшить количество образующегося шлама и среднесуточный расход щёлочи на регенерацию, что в результате улучшило экологические показатели ВПУ.

Таким образом, проведённый анализ работы ВПУ Смоленской АЭС показал ряд технологических и экологических преимуществ использования слабоосновных анионитов, обладающих органоемкостью.

### Библиографический список

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

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

## **ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО ИНФОРМАЦИОННЫМ БАЗАМ ДЛЯ ЭКОЛОГА**

Начиная с 2023 г. в ИГЭУ на кафедре ХХТЭ планируется прием бакалавров на профиль «Экологическая безопасность в промышленности». Цифровизация и информатизация во всех областях хозяйственной деятельности, в том числе в обеспечении экологической безопасности и природопользовании, становятся социально значимыми и востребованными в практической жизни.

Целью данной работы стало определение наиболее значимых интернет-ресурсов по экологии и природопользованию для науки, образования, проектной и практической деятельности. Был сделан подбор электронных информационных баз данных и программного обеспечения, которые станут помощником как для студента, начинающего эколога, так и для опытных специалистов, а научная информация позволит без труда ориентироваться в «экологическом пространстве».

В данной работе были выделены и сведены в форму Путеводителя следующие категории информационных систем:

- географические и метеорологические (интерактивные карты ООПТ, карты расположения полигонов и предприятий, оказывающих НВОС; места обитания краснокнижных животных и растений; карта-программа по расчёту и визуализации розы ветров; данные о периодах НМУ и повышенной концентрации загрязняющих веществ);
- электронные реестры (БДО – база данных по отходам; ФККО – федеральный классификационный каталог отходов; реестр полигонов; ЕГРН – единый государственный реестр недвижимости; реестр объектов, оказывающих НВОС);
- программные средства для подготовки разрешительной, отчетной, статистической документации по охране окружающей среды на производстве;
- автоматизированные системы управления природоохранной деятельностью на предприятии, объединении, в регионе;
- органы государственного управления (Министерство природных ресурсов и экологии РФ и его структурные подразделения и др.).

Путеводитель предназначен для информационного сопровождения научных исследований и образовательного процесса в вузе, а также будет полезен при проектной и практической деятельности.

## ВИДЫ ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТОК ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Важным фактором, влияющим на выбор реагентов и технологии проведения очистки, является требования по предельно допустимым концентрациям отдельных веществ в сбрасываемых промывочных водах. Химические способы очистки парогенераторов весьма разнообразны. При сравнении различных методов в этом случае необходимо учитывать: растворяющую способность реагента по отношению к оксидам железа и производственной окалине; коррозию котельных сталей и надежность ее ингибирования; способность реагента переводить оксиды железа в истинно растворенное состояние, так как наличие взвеси вызывает трудности в ее удалении из очищаемого агрегата; устойчивость образующихся соединений железа II и железа III и «железистость» данного раствора; сложность используемой промывочной схемы.

При преобладании на поверхности труб продуктов атмосферной коррозии, состоящих из оксида железа III, лепидокрокита  $FeO(OH)$ , эффективны реагенты, растворяющие эти соединения или необходимы специальные обработки восстановителями. Для большинства применяемых кислот и их смесей наибольшей скоростью растворения характеризуются  $FeO$ , наименьшей -  $Fe_2O_3$ . По степени растворения оксидов железа и окалины промывочные растворы можно разбить на три группы [1].

К первой по эффективности растворения группе относятся растворы соляной кислоты, моноцитрата аммония и композиции комплексона (трилона Б) с лимонной или малеиновой кислотами. Эти растворы характеризуются наибольшей скоростью растворения всех оксидов железа. В растворах фталевого ангидрида и концентрата низкомолекулярных кислот, относящихся ко второй группе, достаточно высока скорость растворения  $FeO$ , но резко снижается скорость растворения магнетита. Последняя по своим значениям приближается к скорости растворения  $Fe_2O_3$ . К третьей группе относятся растворы адаптивной кислоты; смесей дикарбоновых кислот и гидразиннокислотные, для которых скорость растворения  $Fe_3O_4$  и  $Fe_2O_3$  наименьшая.

### Библиографический список

1. Под общей ред. Маргуловой Т.Х. Химические очистки теплоэнергетического оборудования. М. Энергия, 1978. 176 с.

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

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСОНОВ ПРИ ХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТКАХ**

Для химических очисток теплоэнергетического оборудования от отложений накипи и продуктов коррозии применяют растворы сильных неорганических кислот – соляной и серной кислот 2 – 6% концентрации, преимущественно 4%-ного раствора соляной кислоты [1]. Недостатком их использования является достаточно большая скорость растворения очищаемой металлической поверхности, что повреждает очищаемую поверхность оборудования, экологическая вредность, кроме того, необходимость применения ингибиторов антикоррозионной защиты оборудования. В связи с этим более широкое распространение для химических очистки оборудования получили составы на основе комплексонов.

Комплексоны обладают способностью давать растворимые и малодиссоциированные комплексные соединения с большинством катионов, позволяют удалять отложения с поверхностей при любом их конструктивном выполнении, не требуют создания специальных промышленных схем, сокращают длительность очистки.

Среди комплексонов для промывки от отложений котлов наибольшее распространение в энергетике получила этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и ее натриевые соли (трилон Б). Менее эффективны для промывки оборудования нитрилтриуксусная кислота (НТК - трилон А), лимонная кислота, щавелевая кислота ( $C_2H_2O_4$ ).

Важным преимуществом ЭДТА является ее универсальность, т. е. способность комплексования по отношению ко всем катионам, присутствующим в воде теплоэнергетических установок. При этом прочность образуемых комплексов (комплексонатов) существенно больше, чем для комплексов, образующихся с анионами органических кислот.

При этом способность образовывать комплексные соединения ЭДТА с различными катионами зависит от значения рН. Например, комплексы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  с ЭДТА образуются при  $pH > 7$ , комплексы  $Si^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  - при  $pH < 3$ .

При промывках хорошо себя зарекомендовали натриевые или аммонийные соли ЭДТА, из которых наибольшее распространение получил Трилон Б. В зависимости от количества отложений, состоящих из продуктов коррозии железа, очистка котла проводится в один, два, а иногда и три этапа при начальных концентрациях Трилона Б, равных 0,4 – 0,6%.



**Библиографический список**

1 МУ 34-70-113-85 Методические указания по предпусковой химической очистки теплоэнергетического оборудования.

*Гусева Ю.А., Давранова А.Ш. студ;  
рук. к.т.н., доц. Еремина Н.А. (ИГЭУ, г. Иваново)*

**АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ  
ПОГЛОЩЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ  
УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА**

К настоящему времени учёные после многих исследований и расчётов смогли выявить и посчитать, какие природные объекты и в каком количестве поглощают парниковые газы в первую очередь. Ввиду увеличения промышленных и строительных объектов, транспортных средств, электрических станций в атмосферный воздух поступает большое количество углекислого газа, что приводит к усилению действия парникового эффекта.

К объектам поглощающим  $\text{CO}_2$  относятся: пахотные земли, сельскохозяйственные угодья, кормовые угодья, осушенные почвы водноболотных угодий, леса, океаны.

Леса являются главным элементом поглощения  $\text{CO}_2$  в природной среде. Наиболее интенсивно поглощают углекислый газ следующие древесные породы лиственных деревьев: осина поглощает 3,6 тонн  $\text{CO}_2$  в год/га, берёза до 3,3 тонн  $\text{CO}_2$  в год/га, дуб до 3,2 тонн  $\text{CO}_2$  в год/га; и хвойных деревьев: сосна до 2,4 тонн  $\text{CO}_2$  в год/га, ель и пихта до 2 тонн  $\text{CO}_2$  в год/га, кедр до 1,8 тонн  $\text{CO}_2$  в год/га, лиственница до 1,8 тонн  $\text{CO}_2$  в год/га.

Почва, используемая сельским хозяйством, является наибольшим накопителем углекислого газа. Удержания  $\text{CO}_2$  в пахотном слое почвы происходит за счет наращивания гумуса. Перегной может сохраняться больше 100 лет, не разлагаясь на углекислый газ и минералы.

Волны в океанах перемешивают верхние слои воды, и за счет этого океан, как губка, впитывает из атмосферы излишки углекислоты, которая нейтрализуется по мере погружения в придонные слои. Однако если в воды океана попадает слишком много углекислого газа, нарушается кислотно-щелочной баланс океанских вод: их кислотность увеличивается.

В первую очередь для уменьшения действия парникового эффекта нужно сохранять и возобновлять породы деревьев, проводить повсеместно качественную пахоту.

**Библиографический список**

2. <https://sng.kvemeland.com/Novosti/Novosti2/Pahota-nakoplenie-gumusa-i-uglekislogo-gaza>
3. Приказ от 27 мая 2022 г. №371 “Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов и поглощения парниковых газов”

*Е.К. Болатбеков, студ., Ж.Ә. Тоқтар, студ.,  
Д.К. Оразгулов, студ.;  
рук. М.В. Ермоленко, к.т.н.*

*(НАО «Университет имени Шакарима город Семей»)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ УГЛЯ**

Практически для всех экспериментальных исследований можно условно выделить три этапа:

- подготовка проведения эксперимента;
- планирование и постановка экспериментальных измерений;
- обработка полученных результатов и их анализ.

Широкое применение получил многофакторный эксперимент. Его суть заключается в том, что при осуществлении перехода от одного опыта к опыту проводят одновременное изменение уровней всех факторов по определенно заданному плану, при этом обеспечивается лучшее приближение к оптимальным параметрам. Для каждого из переменных факторов принимают два уровня (верхний и нижний) [1, 2].

Цель проводимого исследования – установление влияния тонины помола угля и коэффициента избытка воздуха на содержание горючих в шлаке и в уносе при сжигании каражыринского угля.

В данном планировании эксперимента содержание горючих в шлаке и содержание горючих в уносе – это функции отклика.

Число опытов  $N$ , которое необходимо было провести определили по формуле:

$$N = n^k, \quad (1)$$

где  $k$  – число переменных факторов [1].

Анализ полученных результатов показал, что на содержание горючих в шлаке, также как и на содержание горючих в уносе при сжигании угля в большей степени оказывает влияние величина коэффициента избытка воздуха, чем значение тонины помола.

### **Библиографический список**

1. Лудченко А.А., Лудченко Я.А., Примак Т.А. Основы научных исследований/ Под ред. А.А. Лудченко. – К.: О-во «Знание», КОО, 2001. – 113 с.

2. Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие / Макаричев Ю.А., Иванников Ю.Н. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. – 131 с.

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

## **АНАЛИЗ СХЕМЫ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ОБРАТНОГО ОСМОСА НА ОСНОВЕ ОСВЕТИТЕЛЕЙ И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ**

В настоящее время на ТЭС и АЭС широко внедряются водоподготовительные установки (ВПУ) на базе мембранных методов и, прежде всего обратного осмоса [1]. Для эффективного использования установки обратного осмоса (УОО) необходимо, чтобы в поступающей на неё воде практически отсутствовали коллоидные и грубодисперсные примеси. Для подготовки исходной воды перед УОО наиболее часто реализуется схема, включающая ступень механических (сетчатых или дисковых) фильтров и установку ультрафильтрации (УУФ) [1]. Рассматривается также комбинированная схема подготовки исходной воды перед УОО, которая сочетает традиционные и мембранные технологии предочистки. Такая схема предусматривает коагуляцию с известкованием в осветлителе, с последующим механическим фильтрованием на насыпных фильтрах. Получаемая при этом осветлённая вода далее очищается на УУФ. Вода после промывок модулей УУФ направляется на вход осветлителей.

Проведённый технологический расчёт комбинированной схемы предочистки и дальнейший анализ полученных результатов показал, что такое схемное решение позволяет надёжно получить осветлённую воду с низким содержанием коллоидных и грубодисперсных примесей, и обеспечивает благоприятные условия работы УОО. По сравнению со схемой, включающей только ультрафильтрацию, уменьшается расход воды на собственные нужды с 8–10 до 2,4–3,0 %. Кроме того, снижаются общие жёсткость и щёлочность осветлённой воды, что уменьшает вероятность образования отложений солей жёсткости на поверхности обратноосмотических мембран и может способствовать повышению допустимой степени концентрирования на УОО. Высокое значение показателя рН в осветлённой воде может привести к образованию карбоната кальция и гидроксида магния, поэтому очищенную воду перед УОО потребуются подкислять. Комбинированная схема предочистки предусматривает наличие "грязного" известкового хозяйства и содержит повышенное количество различного водоподготовительного оборудования.

**Библиографический список**

1. Бушуев Е.Н. Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов: Учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2017. – 144 с.

*А.А. Комлева, студ.;рук. А.Б. Ларин, д.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ ИОНИТОВ НА АЭС**

Задачей входного контроля является определение показателей качества вновь поступающих на АЭС, а также хранящихся на складе ионообменных материалов в целях: оптимального выбора ионообменных материалов для использования в фильтрах установок очистки воды; определения первоначальных показателей качества ионообменных материалов для оценки изменений показателей во время работы; определения показателей качества, требуемых для проведения арбитража.

При входном контроле ионообменных материалов определяют следующие физико-химические показатели: визуальный осмотр, доля целых гранул, осмотическая стабильность, объёмная доля рабочей фракции, полная статическая обменная емкость, окисляемость фильтрата (для сильноосновных и сильнокислотных ионитов), содержание хлорид-ионов (для ионитов ядерного класса), механическая прочность, время оседания и электростатический коэффициент (для подбора пар загрузки ФСД), степень регенерации (для ионитов в рабочей форме), динамическая обменная емкость.

В настоящее время объем входного контроля ионитов на АЭС соответствует физико-химическим параметрам заявленным производителем (табл. 1).

На сегодняшний день в связи с программой импортозамещения становится очень актуальным вопрос по входному контролю новых предлагаемых на АЭС ионообменных материалов.

**Таблица 1 – Физико-химические параметры некоторых ионитов на 2023 год**

Показатель	Марка ионита			
	ТОКЕМ-100	ТОКЕМ-145-10 NR	PUROLITE A600	PUROLITE NRW600R
Структура матрицы	Гелевая			
Объемная доля рабочей фракции, %	96	96	95	96
Полная статическая обменная емкость, мг-моль/см <sup>3</sup>	1,8	1,8	1,15	1,10
Осмотическая стабильность, %	85	80	85	70
Доля целых гранул, %	95	96	95	96
Механическая прочность, %	90	95	90	95
Содержание хлорид-иона, мг/см <sup>3</sup>	-	0,01	-	0,4

**Библиографический список**

1. Рс-001-ХЦ «Регламент по ведению водно-химического режима основного технологического контура и вспомогательных систем».
2. Режимы и нормы эксплуатации оборудования по химическому цеху АЭС: Учеб. пособие/ В.В. Гостыков; Иван. гос. энерг. ун-т. –Иваново, 1999. – 258 с.

*Т.С. Колобова, студ.; рук. Е.В. Зайцева, к.т.н, доц.  
(ИГЭУ, г.Иваново)*

**О ПЕРСПЕКТИВАХ СТРОИТЕЛЬСТВА  
МУСОРОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ  
В РОССИИ**

Мусороперерабатывающие заводы - это предприятия, которые специализируются на переработке различных видов отходов, включая твердые бытовые отходы, строительные отходы, промышленные отходы и другие. Целью мусороперерабатывающих заводов является уменьшение объемов отходов, отправляемых на полигоны твердых бытовых отходов, и получение из них полезных ресурсов.

Существует несколько видов мусороперерабатывающих заводов, включая заводы по механической переработке, мусоросжигательные заводы и заводы по биологической переработке. Заводы по механической переработке позволяют разделять отходы на компоненты и перерабатывать их вторично. Мусоросжигательные заводы используют технологии сжигания отходов, чтобы получать энергию из отходов. Заводы по биологической переработке позволяют использовать отходы для производства удобрений и повышения плодородия почв.

Эксплуатация мусороперерабатывающих заводов имеет ряд преимуществ, которые могут быть важными для общества и окружающей среды.

Во-первых, мусороперерабатывающие заводы позволяют уменьшить объемы отходов, отправляемых на полигоны твердых бытовых отходов. Это позволяет уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, связанное с образованием метана и загрязнением почвы, воды и воздуха.

Во-вторых, мусороперерабатывающие заводы позволяют получать энергию из отходов, что может быть полезным для экономии ресурсов. Например, некоторые заводы используют отходы для производства электроэнергии, что позволяет уменьшить потребление природных ресурсов.

В-третьих, мусороперерабатывающие заводы могут создавать рабочие места для местного населения. Это может быть особенно важно для тех регионов, где уровень безработицы высок.

Наконец, эксплуатация мусороперерабатывающих заводов может быть дешевле, чем долгосрочная эксплуатация полигонов твердых бытовых отходов.

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

## **ПОДБОР СОРБЕНТОВ ДЛЯ ДООЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОКОВ ТЭС**

Нефтезагрязненные стоки значительно влияют на качество окружающей среды, это является серьезной экологической проблемой, которая требует разработки эффективных методов очистки таких стоков и инновационных сорбентов.

Для более глубокой очистки нефтезагрязненных стоков ТЭС обычно используют фильтрование через зернистую или пористую загрузку. Традиционные сорбенты (антрацит, песок, шамот, бентонит) могут быть недостаточно эффективными для глубокой механической очистки. Поиск сорбентов, которые бы имели доказанную на практике высокую эффективность, длительный срок использования, простоту утилизации, приемлемую стоимость является задачей данного исследования.

Изучив свойства и качество нескольких сорбентов, в списке которых сорбенты ОДМ-2Ф, сорбент ГП, сорбент ППУ-130, представленных на рынке в настоящее время, можно отдать предпочтение сорбенту «Уремикс-913», разработанному и выпускаемому ЗАО «Блокформ». «Уремикс-913» обладает высокой стабильностью, долговечностью и сорбционной емкостью, способен удалить до 98% нефтепродуктов, что подтверждается опытом его применения, например, на Ижевской ТЭЦ, в том числе на очистных сооружениях ГУП "Мосводосток", АЗС, крупных нефтяных компаниях и т.д., и что делает его одним из наиболее эффективных сорбентов на рынке. «Уремикс-913» представлен в различных видах: крошка, сорбирующие салфетки, листы, а также как боновое ограждение.

Так же важно не только выбрать качественный сорбент, но оценить насколько это будет экономически затратно для предприятия. Цены на «Уремикс-913» по сравнению с другими сорбентами немного выше, но он хорошо поддается регенерации. Благодаря полужелатиной структуре его сорбционная способность восстанавливается после от-

жима поглощенного нефтепродукта на простейшем приспособлении типа вальцов или ручного пресса. Отжатый нефтепродукт может быть направлен на регенерацию. Очищенная от нефтезагрязнений вода может быть направлена на повторное использование, например на водоподготовительную установку или в оборотную систему охлаждения конденсаторов турбин.

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

## **СПОСОБЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ ТБО**

Проблема загрязнения окружающей среды и здоровья людей и животных, связанная с мусором, требует эффективных методов утилизации и сокращения его количества. Для этого необходимо продолжать развивать инфраструктуру полигонов твердых бытовых отходов, где собирают и утилизируют мусор, а также создавать специальные условия для хранения опасных отходов.

Полигоны твердых бытовых отходов – это специальные места, где собирают и утилизируют мусор, который производят жители городов и сел. Несмотря на то, что многие люди не задумываются об этом, полигоны являются необходимой частью нашей жизни и экологической безопасности.

Они применяются для хранения опасных отходов, таких как химические и медицинские отходы.

Рекультивация полигонов твердых бытовых отходов – это процесс восстановления земли на месте закрытых полигонов. Она позволяет вернуть землю в ее первоначальное состояние и снизить риск для здоровья людей и животных.

Рекультивация может включать в себя такие процессы, как очистка почвы от опасных химических веществ и засеивание травяными растениями. Необходимость рекультивации полигонов твердых бытовых отходов становится все более актуальной, поскольку люди производят все больше мусора и количество полигонов твердых бытовых отходов постоянно увеличивается.

При проведении рекультивации необходимо учитывать особенности местности и используемые материалы. Важно выбирать методы, которые наиболее эффективны и безопасны для окружающей среды. Кроме того, необходимо соблюдать все законодательные нормы и стандарты по управлению отходами и рекультивации земли.

Рекультивация полигонов является важной частью процесса управления отходами. Закрытие полигона и восстановление земли на нем позволяет уменьшить количество мусора, отправляемого на полигон, и сократить негативное воздействие на окружающую среду. Важно отметить, что процесс рекультивации может занять много времени и требует значительных затрат, но в конечном итоге это гораздо более эффективный и экологически чистый способ управления отходами.

*А.С. Павлинова, студ.; рук. Б.М. Ларин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТЭС**

Модернизация водоподготовительных установок (ВПУ) ТЭС обусловлена физическим износом традиционных ионообменных установок и производится, обычно, на базе мембранных технологий в условиях ужесточения требований к использованию реагентов и сбросу стоков электростанции, большую часть которых представляют стоки химических цехов ТЭС. При использовании в качестве исходной природной маломинерализованной воды, применение установок обратного осмоса (УОО) существенно повышает себестоимость обессоленной воды, не уменьшая объёма сточных вод. В этих условиях требуется тщательный анализ состояния установленного оборудования, оценка возможности эффективного применения мембранных технологий и разработка рациональных технологических схем, обеспечивающих модернизацию ВПУ.

Целью исследования является повышение эффективности получения обессоленной воды. Особенно важно проведение таких исследований на природных водах с высоким содержанием железоорганических соединений, характерных для районов центра и севера России.

В данной работе на примере типовых ВПУ Костромской ГРЭС и Владимирской ТЭЦ-2, а также Ивановских ПГУ проведено исследование эксплуатационных характеристик установленного оборудования и предложены схемы комбинированных установок, обеспечивающих снижение расхода реагентов и существенное сокращение сброса солей со стоками. Анализ технологических режимов проводился в условиях сравнения результатов эксплуатации ВПУ в 2013 -- 2014 и в 2019 – 2020 гг., что показало необходимость модернизации установок. Исследование характеристик регенерации ионитов показало возможность глубокой утилизации стоков ВПУ. Показано, что при обработке вод с высоким содержанием железоорганических соединений с использова-



нием ионообменной и мембранной технологий водоподготовки может быть получена обессоленная вода высокого качества.

**Библиографический список**

1. МОДЕРНИЗАЦИЯ ТИПОВОЙ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЭС, Ларин Б.М.

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

**РАСЧЁТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СХЕМ  
ВОДОПОДГОТОВКИ  
В ПРОГРАММЕ «ПРОЕКТ ВПУ»**

Традиционно на ТЭС и АЭС для получения обессоленной воды на водоподготовительной установке (ВПУ) используются химические и термические методы обработки. В настоящее время при водоподготовке находят широкое применение и мембранные методы (обратный осмос, ультрафильтрация, электродионизация и т.д.) [1]. Существование различных технологий, а также возможность их различного сочетания приводит к необходимости определения основных преимуществ и недостатков для различных схемных решений, а также условия их оптимального применения.

С участием автора проводится доработка расчётной компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ», которая предназначена для выполнения технологического расчёта схем обработки воды, определения основных технологических, экологических и технико-экономических показателей. В программе заложена возможность визуального сбора расчётываемой технологической схемы из отдельных элементов. Кроме того, в неё можно добавлять новые стадии водообработки. Были разработаны математические модели и реализованы расчётные методики для ряда дополнительных элементов водоподготовки. Проверка адекватности разработанных моделей проводилась путём сопоставления результатов расчёта с данными из литературных источников и режимных карт, используемых при эксплуатации оборудования на действующих ВПУ.

С использованием разработанной программы выполнен расчёт восьми основных схем обессоливания воды в широком диапазоне изменения минерализации исходной воды, определены основные технологические, экологические и технико-экономические показатели работы ВПУ.

В технической литературе представлено значительное количество различных ресурсосберегающих и малоотходных мероприятий, созданная программа стала инструментом для выполнения их технологического расчёта, обеспечила возможность комплексного анализа их работы с различных сторон практического применения.

#### **Библиографический список**

1. Бушуев, Е.Н. Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС / Е.Н. Бушуев, Н.А. Еремина, А.В. Жадан // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – Вып. 1. – С. 8–14.

*Ю.В. Тагунова, Э.В. Сараева, студ.;*  
*рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, Иваново)*

### **ПЕЛЛЕТНОЕ БИОТОПЛИВО**

В настоящее время запасы полезных ископаемых быстро истощаются, наблюдается тенденция их подорожания. Вместе с этим появляется большой интерес к небольшим энергетическим котлам малой мощности для промышленных предприятий.

Пеллеты – это спрессованные гранулы, используемые в виде топлива для сжигания в котлах с целью выработки тепловой и электрической энергии.

Производство биотоплива для российских лесопромышленников остаётся одним из перспективных направлений. Стимулирующим фактором для создания новых топливных производств является достаточное количество дешёвого сырья — отходов лесопиления и деревообработки. Кроме того, пеллеты также изготавливаются из торфа и из агроотходов (лузга подсолнечника, солома, куриный помет, отходы крупных культур или кукурузы).

Пеллеты удобно транспортировать, а оборудование для их производства легко подключить, т.к. нет привязки к близости прохождения магистральных трубопроводов, как при подключении к газовым сетям.

Был проведен ряд экспериментов по определению общей влажности, аналитической влажности и зольности.

На основе полученных расчетных данных можно сделать следующие выводы. Влажность пеллет и зольность ниже, чем у каменного и бурого угля, следовательно, физический недожог будет ниже и КПД энергоустановки будет выше. Также при сжигании пеллет ниже экологический ущерб, наносимый окружающей среде.

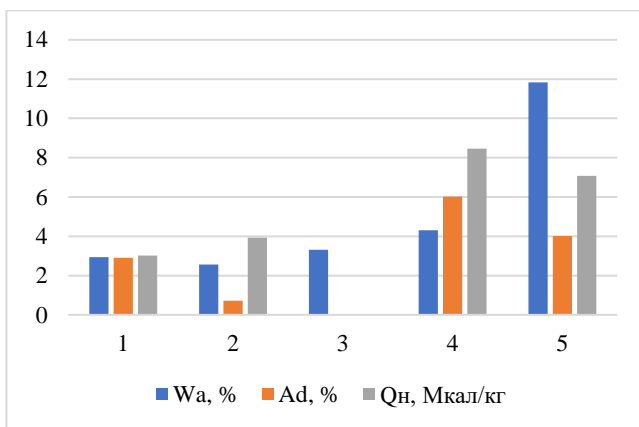
**СЕКЦИЯ 2. ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА. ЭКОЛОГИЯ ТЭС  
И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Таблица 1** – Опытные данные по аналитической влажности, зольности и низшей теплоте сгорания

Исследуемый образец	W <sup>a</sup> , %	A <sub>d</sub> , %	Q <sub>н</sub> <sup>p</sup> , ккал/кг
Пеллеты	2,932	2,897	3919
Топливный брикет	2,562	0,718	3932,4
Опиловочная стружка	3,304	0,308	–
Каменный уголь	4,3	6,021	8464,5
Бурый уголь	11,839	4,013	7079,4

Таким образом, пеллеты - экономически выгодный вариант предотвращения истощения энергетических ресурсов и не являются источником загрязнения окружающей среды.

Диаграмма 1. Опытные данные по аналитической влажности, зольности и низшей теплоте сгорания



**Библиографический список**

1. Справочник химика-энергетика. Под общ. ред. С 74С. М. Гурвича. В 3-х т. Т. 3. И. И. Матвеева. Энергетическое топливо (характеристика и контроль качества). М., Энергия, 1972. 216 с. с ил.
2. <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-povysheniya-energoemkosti-korodrevesnyh-othodov-s-uchetom-zavisimosti-teploty-sgoraniya-ot-vlazhnosti/viewer>

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

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ НА ТЭС И АЭС**

Под ресурсосбережением понимаются мероприятия, направленные на рациональное использование и экономное расходование ресурсов. Традиционно для получения добавочной воды на ТЭС и АЭС используются схемы химического и термического обессоливания с применением прямоточных ионитных фильтров. Однако, такие установки характеризуются повышенной потребностью в различных ресурсах – реагентах, воде на собственные нужды, тепловой и электрической энергии, фильтрующих материалах и т.д.

Ресурсосбережение при водоподготовке на ТЭС и АЭС в основном направлено на снижение потребности в химических реагентах и воде на собственные нужды.

Выполненный анализ научно-технической литературы показал, что основными направлениями ресурсосбережения в процессах водоподготовки являются: выбор оптимальной схемы; использование процессов и аппаратов с минимальным гидравлическим сопротивлением и расходом воды на собственные нужды; автоматизация технологических процессов; переход на малореагентные способы обработки воды; использование высокоэффективных фильтрующих материалов и реагентов.

Применение ионообменных фильтров с противоточной регенерацией смол [1] приводит к сокращению в 1,2–1,5 раза потребности в реагентах для регенерации. Использование установок обратного осмоса (УОО) для удаления ионов из обрабатываемой воды, позволяет существенно сократить потребность в реагентах. Однако, такие схемы характеризуются большим расходом воды на собственные нужды [2] и необходимостью обрабатывать исходной воду для предотвращения образования осадков на поверхности мембран. В настоящее время предлагается ряд технических решений по уменьшению расхода сбрасываемых сточных вод, а также снижению расходов реагентов при подготовке обрабатываемой воды в таких схемах.

### **Библиографический список**

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

2. **Бушуев Е.Н.** Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов: Учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, Н.В. Бушуева // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2017. – 144 с.

*Е.К. Болатбеков, студ., Ж.Ә. Тоқтар, студ.,  
Д.К. Оразгулов, студ.;  
рук. О.А. Степанова, к.т.н.*

*(НАО «Университет имени Шакарима город Семей»)*

## **К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭЦ**

Практически во всех отраслях используется вода в том или ином качестве для различных нужд. Энергетика не является исключением и здесь очень большое внимание уделяется качеству водоподготовки [1].

Системы водоподготовки тепловых электростанций и котельных служат для того, чтобы решить проблему образования минеральных отложений на поверхностях теплообмена [2].

Цель проводимых исследований – проведение анализа эффективности проводимой водоподготовки на примере действующей ТЭЦ.

Водоподготовка на ТЭЦ осуществляется следующим образом: из реки проводят забор воды, далее вода пропускается через осветлитель, механический фильтр, Na-катионитовый фильтр, деаэратор, а затем уже поступает в водогрейный котел. В случае использования воды для парового котла вода после 1 ступени Na-катионитового фильтра поступает во вторую ступень фильтра, бак накопитель и потом в паровой котел.

Был исследован водородный показатель рН для речной воды на протяжении всего отопительного (октябрь – апрель). По водородному показателю можно сделать вывод о коррозионной активности воды. В результате анализа полученных результатов можно сделать вывод, что максимальное значение рН вода имеет в октябре, далее проходит снижение этого показателя, а в апреле небольшой рост. Однако все эти изменения настолько незначительны, что можно считать значение водородного показателя рН стабильным за весь рассматриваемый период и входит в допустимые нормы. Для фильтрованной воды значение этого показателя также стабильно.

### **Библиографический список**

1. «Современные методы анализа воды: состояние, перспективы, новые разработки» Журнал: Энергосбережение и водоподготовка. Издательство: ЭНИВ (Москва) ISSN: 1992-4658, 2015. № 1 (93). С. 76.

2. Неведров А.В. Повышение эффективности и экологической безопасности установок антинакипной водоподготовки / Неведров А.В., Папин А.В., Ушаков Г.В. // Вестник КузГТУ, 2011, № 1. С. 45-48.

**СЕКЦИЯ 3**

**ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Председатель

к.х.н., доцент **Ионов А.В.**

Секретарь

к.х.н., доцент **Хрипкова Л.Н.**

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

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

Водород считается одним из наиболее перспективных видов топлива, так как при его сгорании выделяется примерно в 2,5 раз больше энергии, чем при сжигании углеводородных топлив, а после сжигания водорода образуется только водяной пар и не выделяется углекислый газ.

В данный момент времени в РФ на водородную энергетику приходится менее 2% от всей выработки электроэнергии. Главные направления использования водорода в РФ сегодня – в нефтепереработке и в химической промышленности.

Процесс перехода к водородной энергетике называется «декарбонизацией». Во многих развитых странах приняты программы поддержки водородных технологий, в первую очередь, технологий производства «зеленого» водорода, который получают за счет электролиза воды с применением электроэнергии из возобновляемых источников энергии. В этом его отличие, например, от «голубого» водорода, который производят из природного газа и при производстве которого побочный углекислый газ улавливается и помещается в специальные хранилища (технология CCS — улавливание и хранение углерода).

В настоящее время и в России приняты нормативные правовые акты и разрабатываются различные стратегические документы, направленные на возможность выхода страны на глобальный рынок водорода. Россия в перспективе может занять место лидера в сфере производства и поставок водорода на глобальный рынок.

Тем не менее, на пути к лидерству на этом рынке России предстоит решить несколько важных задач, таких как отсутствие необходимой инфраструктуры для хранения и транспортировки водорода.

Считается, что водород будет преобразовываться непосредственно в электрическую энергию, из чего мы делаем вывод, что он будет распространён как топливный элемент. И хотя цены на них пока достаточно высоки, однако надежность и простота эксплуатации такого оборудования компенсируют этот недостаток. Безопасно водород можно хранить в виде металлгидрида. Сплав никеля и лантана способен поглотить молекулы газа подобно губке. Это позволяет хранить большие запасы водорода в баллоне с минимальным давлением [1].

### **Библиографический список**

1. Зайченко В.М., Шпильрайн Э.Э. и др. Водородная энергетика: Современное состояние и направления дальнейшего развития // Теплоэнергетика. 2003. № 5. С. 61-67.

*Е.А. Коровина ;А.Р. Бобкова студ;  
рук. к.х.н., доц. Л.Н. Хрипкина (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОДАХ**

Производство тепловой и электрической энергии сопровождается использованием большого количества воды в технологическом цикле. Источником технической воды для большинства ТЭЦ являются поверхностные водные объекты, а для ряда электростанций вода из промышленного водовода.

Цель настоящей работы – проанализировать научную литературу о строении гуминовых веществ, их реакционной способности и их роль в природной воде.

Было замечено, что при низком значении жесткости технологических вод, образование шлаков и накипи на оборудовании не уменьшается. В работе [1] приводится исследование состава природных вод и роль гуминовых веществ в составе воды.

Гуминовые вещества — специфические органические соединения, представляющие собой содержательную часть биоэнергетической матрицы цепей питания живых существ и суть обменного взаимодействия тех сред, в которых происходит и/или происходила трансформация отмерших остатков организмов (в большей степени растительных). Это одни из самых сложных по строению природных органических соединений, в этом они превосходят даже нефти, лигнины и угли.

Благодаря карбоксильным, гидроксильным, карбонильным группам и ароматическим фрагментам гумусовые кислоты, входящие в состав гуминовых веществ, вступают в ионные, донорно-акцепторные и гидрофобные взаимодействия, способны связывать различные классы экотоксикантов, образуя комплексы с металлами и соединения с различными классами органических веществ.

Тем самым они выполняют функцию своеобразных посредников, смягчающих действие загрязнений на живые организмы.

### **Библиографический список:**

4. Лепокурова О.Е., Домрочева Е.В. Гуминовые вещества в природных водах Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 3. 197–206
5. Попов А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование/Под ред. Е. И. Ермакова. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004. — 248 с.



*Т.И.Бабаев, студ.;*

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

## **СТОЧНЫЕ ВОДЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ, МЕТОДЫ ИХ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ**

Вода в энергетических комплексах используется для охлаждения маслоохладителей, конденсаторов, некоторых других аппаратов; для питания парогенераторов; для гидравлического удаления золы; для тепловых сетей и для гидроуборки помещений. Составы всех стоков ТЭС, кроме охлаждающих вод, недопустимо сбрасывать в природные водоёмы.

Таким образом, технология очистки, технологические схемы и конструкции используемых сооружений, установок, аппаратов и механизмов должны будут все время изменяться в соответствии с вводимыми требованиями к качеству и к расширяющимся перечням вредных примесей. Все это позволяет считать создание бессточных ТЭС наиболее перспективным на сегодняшний день.

Для очистки сточных вод на предприятии теплоэнергетики были рассмотрены два высокоэффективных метода: метод ионного обмена и метод обратного осмоса. Оба метода имеют свои достоинства и недостатки. Метод ионного обмена намного дешевле, позволяет снижать щелочность и общее солесодержание. Но у данного метода есть существенный недостаток. Из-за использования большого количества реагентов для регенерации ионообменных смол, создается проблема, связанная с утилизацией высококонцентрированных рассолов, использованных в регенерации смол, а также повышает затраты на эксплуатацию установок ионного обмена. В то время как очистка сточной воды методом обратного осмоса не требует применения реагентов, а также не образует вредных солевых рассолов. Хотя данный метод является достаточно дорогим при первоначальных вложениях, зато на долгосрочную перспективу является менее затратным на реагенты и ремонт оборудования.

### **Библиографический список**

1. **Выгузова М. А., Наумова Е. В.** Методы очистки сточных вод на предприятиях // Вестник КИГИТ. 2013. № 3 (33). С. 59–62.
2. **Володин С. Л., Захаров С. Л.** Современные проблемы очистки водных ресурсов обратным осмосом // Ползуновский вестник. 2015. №1. С. 15–17.

*М.А. Гайдабрус, аспирант; рук. Р.Б. Табакаев, к.т.н.  
(ТюмГУ, г. Тюмень)*

## **КАТАЛИТИЧЕСКОЕ СНИЖЕНИЕ СМОЛОПРОДУКТОВ В СОСТАВЕ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА ИЗ СКОРЛУПЫ КЕДРОВЫХ ОРЕХОВ**

Наличие смолопродуктов в составе пиролизного газа, конденсирующихся в трубопроводах технологического тракта и приводящих к необходимости остановки оборудования, ухудшают работу теплотехнологического оборудования и значительно повышают затраты на производство конечного продукта [1]. В связи с чем работы по поиску путей очистки пиролизного газа являются актуальными.

При помощи ИК-Фурье спектрометра «IRSpirit» (Shimadzu, Япония) и жидкостного хроматографа «Хроматэк – Кристалл 5000.2» (Хроматэк, Россия) выполнен анализ состава смолы, полученной при медленном пиролизе скорлупы кедровых орехов (СКО). В результате установлено наличие соединений основных функциональных групп (ароматические, алифатические и т.д.) в диапазоне С3-С40. Полученные результаты согласуются с литературными данными [2].

В качестве пути решения проблемы предлагается термическая переработка СКО в среде катализатора глубокого окисления КГО-О30 (1,7% CuO, 3,6% MgO, 17% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, основа – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). В результате проведения экспериментов установлено, что добавление к перерабатываемому сырью катализатора КГО-О30 в соотношении 1:1 в процессе медленного слоевого пиролиза до температуры 520 °С (скорость нагрева 10 °С в минуту) привело к снижению выхода смолы в 7,1 раз. Дальнейшее увеличение доли катализатора до 2:1 (КГО:СКО, соответственно) позволило снизить содержание смолопродуктов практически до нуля.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект №22-19-00410). Используемое аналитическое оборудование приобретено в рамках Госзадания №FEWZ-2021-0014.*

### **Библиографический список**

1. **Манелис Г.Б.**, Полянчик Е.В. Технологии газификации в сверхadiaбатическом режиме для решения экологических проблем энергетики // АЭЭ. 2008. №2. С. 123-127.
2. **Микова Н.М.**, Фетисова О.Ю., Павленко Н.И., Чесноков Н.В. Изучение термического поведения органосольвентных лигнинов, выделенных из древесины пихты и осины // Химия в интересах устойчивого развития. 2018. №26. С. 411-418.

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

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Принцип работы тепловых электрических станций (ТЭС) заключается в сжигании топлива в топках паровых котлов, где образуется тепловая энергия пара. Через паровую турбину энергия пара преобразуется в механическую, которая в турбогенераторе превращается в электроэнергию.

Цель данной работы – проанализировать современные методы повышения экологичности использования топлива для тепловых электрических станций, которые может предложить химия.

Поводом для проведения исследований послужила подготовка к выбранной профессии.

Данная проблема является актуальной, так как использование ТЭС связано с определёнными негативными последствиями для экологии, среди которых тепловое, шумовое и электромагнитное загрязнение окружающей среды, загрязнение атмосферы углекислотой, образование токсичных отходов и другие. Около 90% всей электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях. Однако и по степени воздействия на окружающую среду теплоэнергетика стоит первом месте. В связи с этим актуальность снижения негативного влияния теплоэлектростанций на экологию ни у кого не вызывает сомнений.

Перед началом исследований была выдвинута гипотеза, что в настоящее время можно выделить множество способов по снижению вреда, создаваемого ТЭС: это очистка сточных вод электростанций, загрязненных нефтепродуктами, использование газа на ТЭС как основного вида топлива, так как он значительно экологичнее угля, преимущественно используемого в настоящее время, улучшение качества топлива, улавливание вредных компонентов дымовых газов, образующихся при сжигании топлива, переработка отходов. Все эти примеры указывают на существование возможностей по снижению негативного влияния ТЭС на окружающую среду.

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

По результатам работы сделаны выводы, что использование современных методов по снижению негативного влияния ТЭС на экологию позволит снизить вред биосфере и будет способствовать решению вышеперечисленных проблем.

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

## **РОЛЬ ХИМИИ В РЕШЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

Поводом для проведения исследований послужила подготовка к выбранной профессии.

Цель данной работы – показать роль химии в решении различных энергетических проблем, т.к. химия вносит немалый вклад как связующее звено между современным естествознанием и современной техникой.

Вся история развития цивилизации - поиск источников энергии. Это весьма актуально и сегодня. Ведь энергия — это возможность дальнейшего развития индустрии, получение устойчивых урожаев, благоустройство городов и оказание помощи природе в залечивании ран, нанесённых ей цивилизацией.

Обеспеченность энергией является важнейшим условием социально-экономического развития любой страны, ее промышленности, транспорта, сельского хозяйства, сфер культуры и быта. Поэтому и решение энергетических проблем требует глобальных усилий.

Исследования проводились на базе различных интернет- источников.

По результатам работы сделаны выводы, что химия служит основой для всех современных отраслей хозяйства, а также является ключом в решении различных энергетических проблем.

Петров Д. студ.;

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ РАСТВОРЕНИЯ СОЛИ

Теплота является одной из форм энергии. Определение теплоты растворения соли имеет важное значение среди физико-химических методов исследования веществ и их свойств. Целью работы является определение интегральной теплоты  $\Delta H_m$  растворения нескольких солей с одинаковым катионом или анионом в воде, что позволяет выяснить влияние природы второго иона на величину  $\Delta H_m$ .

В работе была поставлена задача освоения методики проведения калориметрического опыта по определению и расчету интегральной теплоты растворения некоторых солей и сравнение полученных данных с литературными. В основе определения тепловых эффектов калориметрическим методом лежит уравнение (1):

$$\Delta H_m = K \cdot \Delta t \quad (1)$$

где  $\Delta H_m$  – общий тепловой эффект проводимого в калориметре процесса;  $\Delta t$  – изменение температуры в результате процесса;  $K$  – теплоёмкость калориметрической системы (постоянная калориметра).

Были исследованы теплоты растворения следующих солей в воде:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Две соли содержат одинаковый катион, две – одинаковый анион. В таблице представлены полученные результаты.

**Таблица 1** – Интегральная теплота растворения солей

соль	Термохимическое свойство	Теплота растворения, кДж/моль		$\frac{\Delta(\Delta H_m)}{\Delta H_m} \cdot 100\%$
		Справочные данные	Эксперимент $\Delta H_m \pm \Delta(\Delta H_m)$	
KCl	$\Delta H_m(\text{aqKCl} \cdot 208\text{H}_2\text{O})$	17,54	17,42±0,042	0,23
$\text{NH}_4\text{Cl}$	$\Delta H_m(\text{aqNH}_4\text{Cl} \cdot 208\text{H}_2\text{O})$	15,26	14,81±0,0387	0,25
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	$\Delta H_m(\text{aqNH}_4\text{NO}_3 \cdot 208\text{H}_2\text{O})$	25,68	25,70±0,040	0,17

Как можно видеть, что интегральная теплота растворения соли зависит от молекулярного состава вещества. Дальнейшие исследования позволят составить более полную зависимость  $\Delta H_m$  от природы иона.

### Библиографический список:

1. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономаревой. СПб : Медный всадник, 2003.
2. Зайдель А. Н. Погрешности измерений физических величин / А. Н. Зайдель. М. : Наука, 1995. 112 с.

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

## **ПОЛУЧЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Ежегодно во всем мире потребляется миллионы тонн щелочных металлов. Эти металлы обладают высокой реакционной способностью и могут быть найдены в различных минералах и рудах. Однако получение щелочных металлов требует специальных методов из-за их реакционной способности, что может представлять угрозу безопасности.

Наиболее распространенным методом, используемым для получения щелочных металлов, является электролиз их расплавленных солей. Этот метод широко используется для получения лития, натрия и калия. Фракционной дистилляцией получают рубидий и цезий. Этот метод включает нагрев соли металла до ее испарения, затем охлаждение и конденсацию пара для получения металла. Также, некоторые щелочные металлы можно получить восстановлением их оксидов.

Щелочные металлы обладают уникальными свойствами, которые делают их полезными в различных областях, связанных с энергетикой. Например, натрий и калий обычно используются в батареях из-за их высокой плотности энергии. Литий является популярным выбором для аккумуляторов из-за его малого веса и высокой плотности энергии. Щелочные металлы используются на атомных электростанциях в качестве охлаждающих жидкостей, а на солнечных станциях в качестве теплоносителей для улавливания и передачи солнечной энергии.

Щелочные металлы являются универсальными элементами с широким спектром промышленного и научного применения. Получение этих металлов может быть сложным процессом из-за их реакционной способности, но они обладают многими полезными свойствами, которые делают их ценными для производства энергии.

### **Библиографический список**

- 1. Зарецкий С.А., Сучков В.Н., Шляпников В.А.** Технология электрохимических производств. М.: Высшая школа, 1970. 423 с.
- 2. Ротинян А.Л.** Прикладная электрохимия. М: Химия, 1974. 535 с.

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

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ В СРАВНЕНИИ С ДРУГИМИ ТРАДИЦИОННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

В настоящее время основными источниками выработки электроэнергии остаются традиционные источники энергии, такие как ТЭС, ГЭС и АЭС. Однако, каждый из них имеет собственные проблемы, связанные с влиянием на окружающую среду.

Данная проблема является актуальной, т.к. использование традиционных источников энергии связано с увеличением загрязнения окружающей среды, нарушением теплового баланса атмосферы и, как следствие, глобальным изменением климата. Также, одной из основных причин к переходу на ядерные источники энергии является ограниченность топливных ресурсов, дефицит энергии,

Цель данной работы – изучить преимущества ядерной энергии (ЯЭ) АЭС в сравнении с другими основными традиционными источниками энергии, а также перспективы развития и возможности решения проблемы утилизации ядерных отходов (ЯО).

Поводом для проведения исследований послужила подготовка к выбранной профессии.

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

По результатам работы сделаны выводы, что о переход на ядерные источники энергии позволит сохранить тепловые ресурсы и будет способствовать решению экологических проблем.

### **Библиографический список**

1. **Гриневич, В. И.** Экологические проблемы и основы природопользования / В.И. Гриневич, В.В. Костров –Иваново, НПЦ Стимул, 1994. - 170 с.
2. **Штраус, В.** Контроль загрязнения воздушного бассейна / В. Штраус, С.Д. Мэйнуорринг –М: Стройздат, 1989. – 144с.
3. **Тупикин Е.И.** Общая биология с основами экологии и природоохранной деятельности / –М: ПрофОбрИздат, 2001. – 384с.
4. Влияние электроэнергетики на окружающую среду <https://helpiks.org/5-30513.html>

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

## **БИОТОПЛИВО КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ**

В мире в последнее время часто встаёт вопрос острой нехватки энергоресурсов. Их дефицит негативно влияет на экономику и социальную сферу государства. Борьба за них также является существенным фактором, влияющим на развитие международных отношений, а использование первичных источников энергии нередко приводит к серьёзному загрязнению окружающей среды. В данных обстоятельствах всё более перспективным начинают выглядеть поиски способа получения энергии с помощью нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Биоэнергетика основывается целиком на использовании различных видов биотоплива, которое имеет ряд преимуществ перед ископаемым топливом: экологичность, высокая мобильность, экономическая безопасность, возобновляемость. К основным видам биотоплива относятся жидкое (биоэтанол, биометанол, биодизель), твёрдое (дрова, брикеты, топливные гранулы) и газообразное (биогаз, биоводород).

В то же время на современном этапе развития наук и технологий производство биотоплива связано с рядом проблем. Это истощение земельных ресурсов, снижение содержания полезных компонентов почв и обострение продовольственной проблемы. Также у биотоплива есть шанс занять только часть мирового энергетического рынка, поскольку его потенциал ограничивают искусственно. Тем не менее в России, несмотря на слабое развитие биоэнергетики в силу обладания колоссальными запасами энергетических ресурсов, данное производство в будущем может оказаться крайне перспективным для использования в малой энергетике, благодаря гигантской сырьевой базе и наличию больших территорий и акваторий для последующего выращивания нужных ресурсов.

### **Библиографический список**

1. **Шанмова А.М.** Использование биомассы - радикальное решение проблем экологии и энергетики. Уфа, 2012. 8 с.
2. **Елистратов В.В.** Возобновляемая энергетика. СПб, 2013. 308 с.



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

## **РАДИОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОБЛУЧЁННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

Поводом для изучения данной проблемы является выбор будущей специальности.

Цель работы — изучение методов радиохимической переработки облучённого ядерного топлива и выявление их достоинств и недостатков.

Данная тема актуальна в современном мире, так как радиохимическая переработка облученного ядерного топлива АЭС - это молодая развивающейся отрасль промышленности, от которой зависит развитие атомной энергетики.

В данной работе рассматриваются различные методы переработки облученного ядерного топлива (ОЯТ), их достоинства и недостатки.

Изучение данной проблемы проводилось на базе различных интернет- источников и научной литературы.

По результатам работы можно сделать вывод, что радиохимическая переработка ОЯТ способствует сохранению природных ресурсов, большинство которых являются ограниченными.

### **Библиографический список**

1. Главный редактор Н.Н Пономарев-Степной. Газофторидная технология переработки отработавшего оксидного топлива//Атомная энергия.ТОМ 90,Вып. 3, 2001.-248 с.
2. Апсэ В.А., Шмелев А.Н. Ядерные технологии: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008. - 128 с.
3. Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС/ В.И. Землянухин, Е.И. Ильенко, А.Н. Кондратьев.- М.: Энергоатомиздат, 1989. - 280 с
4. В.А. Карелин, А.Н. Страшко. Технология переработки облученного ядерного топлива : учебное пособие ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 89 с.
5. Машиностроение. Энциклопедии / Ред. совет: К.В. Фролов (пред. ) и др. М.: Машиностроение. МЗВ Машиностроение ядерной техники. Т. IV-25. В 2-х кн. Кн. 2 / Е.О. Адамов, П.В. Андреев, С.А. Антипов, А.И. Аржаев и др.; Под общ. ред. Е.О. Адамова. 2005. - 944 с., ил.
6. В.А. Карелин. Экстракционная переработка облученного ядерного топлива : учебное пособие / Томский политехнический университет. - Томск : 2020. - 125 с.

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

## **ЦИНКОВАНИЕ ТРУБ – ОДИН ИЗ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С КОРРОЗИЕЙ**

Стальные трубы на протяжении многих лет используются для прокладки каких-либо коммуникаций: водопровода, газопровода, системы центрального отопления. Значительным недостатком стали является ее нестойкость к коррозионным процессам. Одним из самых простых методов борьбы с коррозией является цинкование. В процессе производства нержавеющей труб оцинкованию подвергается внешняя и внутренняя поверхность изделия. Благодаря слою цинка сталь защищается от разрушительного действия влаги, кислорода и, как следствие, окисления, т.е. от воздействия коррозионных процессов.

Применяют 5 технологий цинкования труб (электрогальваническое, термодиффузионное, горячее, холодное и газотермическое), из которых основными являются первые три:

Существует несколько способов оцинковки:

1. Электрогальваника, а точнее, гальваностегия. Толщина цинкового покрытия 10 – 30 мкм и зависит от технических параметров производства. Применяется чаще при изготовлении металлической мебели, стенов, перил. Изделие имеет привлекательный глянцевый внешний вид, но недолгий период эксплуатации (до 5 лет).

2. Термодиффузионный способ позволяет добиться самого хорошего результата оцинковки (плотно и равномерно ложатся на поверхность стали, покрывая даже небольшие трещинки, мелкие детали и труднодоступные элементы). Но дорогостоящий способ. Толщина цинкового слоя 6...100 мкм. Период эксплуатации (от 15 лет и более).

3. Способ горячей оцинковки (слой цинка довольно плотный и толстый 30...65 мкм, но поверхность не всегда ровна, может иметь наплывы и другие недочеты). Высокий уровень надёжности и прочности. Срок службы (в зависимости от условий эксплуатации) – от 65 до 120 лет. Но невозможность оцинкования труб малого диаметра и тонкостенных труб.

Именно от толщины слоя цинка, качества его нанесения и прочности покрытия зависит долговечность товара. Так же оцинкованные трубы по сравнению с пластиковыми, стабильны в размерах, не подвергаются изменениям под воздействием высоких температур, что позволяет применять их в системах ГВС, обустройстве дымоходов до 350°С. Сам по себе цинк является антисептиком, что особенно хорошо при использовании обработанных им металлоизделий в водопроводах.

*Д.И. Сайфуллин, маг.; рук. Х.В. Гибадуллина, к.х.н  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ АЛЮМОВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

«Водород – это самое энергоемкое и легкое вещество из всех видов топлива» [1]. Он производился миллионами тонн еще в СССР. Сегодня потребность в водороде увеличилась на порядки.

Промежуточным энергоаккумулирующим веществом в технологии получения водорода может служить активированный нанопорошок алюминия [1]. Алюминий играет важнейшую роль среди всех цветных металлов, относительно небольшое количество его используется в виде порошков.

Вследствие высокой химической активности ( $E^0 = -1,662$  В) в природе находится только в связанном виде, образуемая на воздухе тонкая в 50–100 мк, но плотная оксидная пленка создает диффузионные ограничения окислению металла даже в кипящей воде [1].

Получение высокочистого водорода протекает с образованием нанопорошков  $Al_2O_3$ ,  $Al(OH)_3$ , а объем выделяющегося топливного водорода эквивалентен 11,1 % массы окисляемого металла.

Согласно термодинамическим расчетам [1], при окислении 1 кг Al в водных средах, наряду с тепловой энергией (~15 МДж), образуется более 2 кг особо чистых нанокристаллических оксидов и гидроксидов алюминия, рыночная стоимость которых высока. При этом энергетические затраты составляют менее 28 МДж на  $1\text{ м}^3$   $H_2$ .

Алюмоводородные технологии позволяют получать водород прямо на месте его использования, при этом исключаются потенциально опасные операции накопления и транспортирования взрывоопасного газа. Однако широкомасштабное применение нанопорошка алюминия сдерживается нестабильностью при его хранении и дорогими нанотехнологиями получения.

### **Библиографический список**

1. Чудотворова Е.О. Оценка возможности применения алюминия для получения водородного топлива / Е.О. Чудотворова, А.С. Пугачук // Известия ВУЗов. Сер. Машиностроение. – 2017. – №. 11. – С. 42-48.

**СЕКЦИЯ 4**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Председатель

д.т.н., доцент **Бушуев Е.Н.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Корочкина Е.Е.**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ОКОННОМ БЛОКЕ С ТЕПЛООТРАЖАЮЩИМИ ЭКРАНАМИ**

В качестве энергосберегающих решений по повышению теплозащиты окон предлагается увеличение количества слоёв остекления, применение теплоотражающих покрытий и металлических экранов [1], заполнение воздушных прослоек газами с низкой теплопроводностью и т.д. В работе [1] численное моделирование было выполнено только для светопрозрачной части окна с экранами в одномерной постановке с помощью эмпирических зависимостей в программе Matlab, в трехмерной постановке – в Phoenix с помощью метода конечных элементов. К сожалению, в моделях было принято допущение об адиабатности в зоне контакта стеклопакета с дистанционной рамкой.

В продолжение исследований в программном комплексе COMSOL Multiphysics была разработана имитационная модель процесса теплопередачи через оконный блок с экранами, установленный в стене, разделяющей теплое и холодное отделения климатической камеры. Моделировали процесс теплопередачи через оконный блок, включающий в себя двухкамерный стеклопакет формулой СПД  $4M_1-10-4M_1-10-4M_1$  и деревянную раму. Со стороны холодного отделения размещали от одного до трех теплоотражающих экранов, выполненных из полированной алюминиевой фольги. Рассматривали вариант заполнения воздушных прослоек малотеплопроводным инертным газом аргоном.

Были получены температурные поля как на поверхностях конструкции, так и в её разрезе, а также линии и скорости воздушных потоков в прослойках. На основании выполненного моделирования были определены тепловые потери, а также приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачной конструкции. Было выявлено изменение коэффициента теплоотдачи со стороны теплогo отделения по высоте стеклопакета. Была проведена верификация данных имитационного моделирования с результатами собственных экспериментальных исследований, проведенных в климатической камере.

### **Библиографический список**

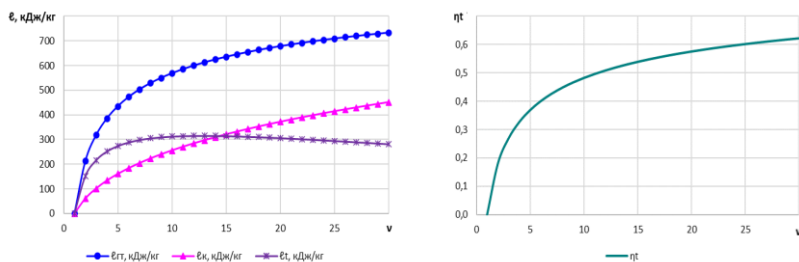
1. **Parfenov, G.I.** Improving the energy efficiency of dynamic air condition systems in buildings with controlled resistance to window heat transfer / G.I. Parfenov, N.N. Smimov, V.V. Tyutikov // Journal of Physics: Conference Series – 2018. – № 1111. — iss. 1. – p. 6.

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

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА И АНАЛИЗА ЦИКЛОВ ГТУ В EXCEL

Анализ тепловой экономичности циклов газотурбинных установок (ГТУ) проводится для выбора оптимальных значений степени повышения давления воздуха в компрессоре, а также для получения представления о влиянии на оптимальную степень повышения давления различных параметров. В данной работе была разработана программа для расчета и анализа циклов ГТУ с использованием электронных таблиц Microsoft Excel.

Составлены алгоритмы последовательности действий для расчета в среде Excel простого обратимого и необратимого циклов ГТУ в зависимости от степени повышения давления воздуха в компрессоре, температуры газов перед газовой турбиной и температуры воздуха перед компрессором. По результатам каждого расчета в Excel строят графики зависимости работы турбины  $\ell_{\text{т}}$ , компрессора  $\ell_{\text{к}}$ , цикла ГТУ  $\ell$  и термического КПД  $\eta$ , от степени повышения давления воздуха в компрессоре  $v$  (рис. 1). Далее на основе полученных расчетных и графических данных проводят анализ влияния степени повышения давления на тепловую экономичность цикла.



**Рисунок 1** – Графики зависимости  $\ell = f(v)$  и  $\eta = f(v)$

Также в рамках данной работы составлены 100 индивидуальных вариантов исходных данных для расчета и анализа тепловой экономичности циклов ГТУ. Для удобства проверки составлена таблица с ответами.

Результаты данной работы использованы при составлении методических указаний для проведения лабораторных занятий по курсу «Техническая термодинамика».

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

## ТЕМПЕРАТУРА И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ШКАЛЫ

Температура (от лат. *Temperatura* – надлежащее смешение, нормальное состояние) – скалярная физическая величина, характеризующая термодинамическую систему и количественно выражающая интуитивное понятие о различной степени нагретости тел [1].

Исторически понятие температуры (степени нагретости) связано с медициной. Давно заметили, что здоровье человека как-то связано с теплотой его тела и что лекарства могут влиять на здоровье, принося с собой, в частности, теплоту или холод. Так, знаменитый врач Гален (II век н.э.) использовал классификацию лекарственных препаратов по "градусам" (латинское *gradus* – ступень). В медицине впервые была сделана попытка установить 12-градусную шкалу теплового действия лекарств («температур»).

На современном уровне существует множество определений температуры, как физического параметра состояния тела [2]. Температура интенсивный параметр состояния, который не зависит от количества вещества. Количественно величина температуры тела определяется косвенным образом через проявление телом экстенсивных свойств в зависимости от степени его нагретости (изменение объема и т.п.). Изготовление первых устройств для измерения температуры обычно приписывают Галилею (около 1597 г.). Поскольку приборы, измеряющие температуру, использовали определенные вещества (жидкости, газы и т.п.) исторически появилось множество температурных шкал, которые применялись в различных частях мира.

В данной работе рассматривается история формирования понятия температуры, история создания приборов, измеряющих температуру, и их температурных шкал. Особое внимание уделено истории возникновения и обоснования абсолютной шкалы температур Кельвина. Дается современная трактовка интервала температур в один кельвин в соответствии с международной шкалой температур 1990 года (ITS-90).

### Библиографический список

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Температура>
2. **Чухин И.М.** Техническая термодинамика. Часть 1, учебн. пособие. – ФГБОУВ-ПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2006, 228 с.

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

## **ЖИЗНЬ ГЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИКИ И ТРАГЕДИЯ ТВОРЦА**

Людвиг Эдуард Больцман, без сомнения, был величайшим учёным и мыслителем конца девятнадцатого века, которого дала миру Австрия. Стронник существования атомов, он известен тем, что разработал статистическую механику [3]. Он дал статистическое объяснение второму закону термодинамики и внес значительный вклад в кинетическую теорию газов.

Труды Больцмана дополнили важные научные работы Максвелла, а также оказали большое влияние на теоретические исследования Альберта Эйнштейна. Ещё при жизни Больцман был признан великим учёным, его приглашали читать лекции во многие страны [2].

Атомные представления были основой всего научного мировоззрения Больцмана. Применяя статистические методы термодинамики к молекурно-кинетической теории идеальных газов, он вывел кинетическое уравнение газов [3]. В фундаментальных работах Больцмана по кинетической теории можно указать четыре основных результата. Во-первых, установление основного интегро-дифференциального уравнения теории газов (известное «кинетическое уравнение Больцмана»), затем открытие «Больцмановского распределения». В-третьих, это исследование необратимых процессов, статистическая трактовка второго начала термодинамики и последующее за этим доказательство «Н-теоремы», которое явилось аналогом закона возрастания энтропии. И наконец, в-четвертых, установление статистического смысла понятия энтропии как логарифма априорной вероятности состояний [4]:

$$S = k \cdot \log(W) \quad (1)$$

Выдающееся значение имеет и обоснование Больцманом закона излучения абсолютно черного тела (АЧТ):

$$E_0 = \sigma_0 T^4, \quad (2)$$

где  $E_0$  – лучеиспускательная способность АЧТ;  $\sigma_0$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $T$  – абсолютная температура АЧТ.

Во время тяжелой депрессии, вызванной нападками на его молекулярно-кинетическую теорию, 5 сентября 1906 года Людвиг Больцман совершил акт суицида.

### **Библиографический список**

1. Полак Л.С. Людвиг Больцман 1844 – 1906. –М.: Наука, 1987. – 208 с.



2. **Боголюбов Н.Н., Саночкин Ю.В.** Людвиг Больцман // УФН. – 1957. –Т. 61. – № 1.
3. **Blackmore J.T.** Ernst Mach. Los Angeles: Univ. Calif. Pres., Ch. 14, p 205.
4. **Больцман Л.** Избранные труды. Сер. «Классики науки»/ Отв. ред. Л. С. Полак. М.: Наука, 1984. 589 с.

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

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПОРОВ В ГПП НА ТЕПЛОВУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПИКОВОЙ АЭС

Авторы проводят анализ влияния температурных напоров в газопаровом пароперегревателе (ГПП) пиковой АЭС, в котором используется теплота уходящих газов газовой турбины (ГТУ) вместо перегрева пара в сепараторе-пароперегревателе водяным паром из реактора.

Анализ выполнялся для серийного блока АЭС К-1000-65/3000 [1] и ГТУ с температурой газов перед газовой турбиной 1000 °С при температуре воздуха на входе в компрессор 20 °С. В базовом варианте принимались температурные напоры в ГПП между уходящими газами ГТУ и водяным паром на входе в ЧНД  $\Delta t_1 = t_{4i} - t_{\text{нп}} = 100$  °С и между уходящим газом из ГПП и на выходе из ЧВД  $\Delta t_2 = t_5 - t_{\text{нп}} = 50$  °С. Выбор оптимального значения  $v_{\text{опт}}$  выполнялся по максимуму КПД всей установки  $\eta_i$  и по выработке пиковой мощности  $\eta_{\text{пик}}$ . Далее увеличивали температурные напоры  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  на 50 °С как вместе, так и по отдельности и проводили аналогичные расчеты. Основные результаты расчетов приведены в таблице.

**Таблица 1** – Результаты расчета пиковой АЭС с ГТУ

$\Delta t_1$ °С	$\Delta t_2$ °С	$T_{4i}$ К	$T_5$ К	$v_{\text{опт}}$	$d_r$	$\ell_i$ кДж/кг	$\ell_{\text{пик}}$ кДж/кг	$\eta_i$ %	$\eta_{\text{пик}}$ %
100	50	655,88	474,95	15	2,766	1553,44	761,51	38,65	46,70
150	50	690,67	474,95	12	3,321	1477,15	685,23	38,27	46,52
100	100	677,93	474,95	13	3,272	1690,75	898,82	38,33	44,39
150	100	690,67	474,95	12	3,02	1641,84	849,914	38,15	44,33

На основании результатов расчетов, приведенных в таблицах, можно сделать следующие выводы:

- цикл пиковой АЭС с ГТУ будет иметь наибольшую тепловую экономичность  $\eta_{\text{пик}} = 46,70$  % при минимальных температурных напорах  $\Delta t_1 = 100$  °С и  $\Delta t_2 = 50$  °С и степени повышения давления воздуха в компрессоре  $v_{\text{опт}} = 15$ ;

• увеличение  $\Delta t_1$  до 150 °С при  $\Delta t_2=50$  °С при  $v_{\text{опт}}=12$  практически не уменьшило тепловую экономичность АЭС ( $\eta_{\text{пнк}}=46,52$  %), что указывает на конкурентоспособность и этого варианта параметров.

**Библиографический список**

1. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции. – М.: Высшая школа, 1984 – 304 с.

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

**РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ  
В ТЕЛАХ КЛАССИЧЕСКОЙ ФОРМЫ  
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

В настоящей работе реализован расчет температурных полей в телах простейшей формы в нестационарном процессе переноса теплоты теплопроводностью.

Дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье для тел простейшей формы решали численным методом – методом сеток [1].

Были приняты следующие допущения: процесс переноса теплоты осуществляется только теплопроводностью; свойства материала не зависят от температуры; отсутствуют внутренние источники теплоты; осесимметричное распределение температуры.

В зависимости от расположения узла выбирали соответствующую формулу расчета температуры: для внутренних узлов сетки, для внутренней и внешней границ (формула для внешней границы зависит от способа задания граничных условий: I или II, или III рода) [2].

Для реализации алгоритма расчёта температурного поля была создана универсальная таблица в программе MS Excel. В электронной таблице организована возможность регулирования количества шагов по времени и пространству. В алгоритме использовали функцию «IF» для выбора необходимой формулы расчёта температуры: если номер узла  $i$  принимает значение от 1 до  $(N-1)$ , то температуру рассчитываем по формуле для внутренних узлов сетки; если  $i$  не имеет числового значения – по формуле для внутренней границы; если номер узла  $i$  совпадает с  $N$  (числом узлов по пространству) – по одной из формул для внешней границы.

Созданная программа может быть использована с целью изучения алгоритма расчета температурного поля численным методом, в лабораторном практикуме, при выполнении выпускных квалификационных работ и для инженерных расчетов на промышленных предприятиях.

**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., Созинова Т.Е., Носова С.В., Никитин К.Б. Исследование процесса нестационарной теплопроводности и термонапряженного состояния твердых тел на имитационной математической модели: Методическое указание к лабораторной работе. – Иваново, 2003. – 41 с.

*И.А. Карташов, А.Е. Короткова, студ.,  
рук. Т.Е. Созинова, к.т.н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Тепловую изоляцию используют как для уменьшения тепловых потерь, так и для увеличения теплоотовода от цилиндрических поверхностей [1].

Для уменьшения тепловых потерь, а также для защиты труб от внешних воздействий с целью продления срока службы применяют тепловую изоляцию для трубопроводов горячего водоснабжения, тепловых сетей, систем кондиционирования воздуха, газонефтепроводов, прочих магистралей.

Материалы, используемые для изоляции трубопроводов, отличаются своими теплофизическими свойствами, эксплуатационными и экологическими характеристиками, стоимостью.

Выделяют три основные группы теплоизоляционных покрытий:

- 1) Органические, получаемые с использованием органических веществ, т.е. разнообразные пенопласты (например, пенополистирол);
- 2) Неорганические: минеральная вата и изделия из неё, лёгкий и ячеистый бетон, пеностекло, стеклянное волокно, изделия из вспученного перлита, вермикулита, сотопласты и др.;
- 3) Смешанные, изготавливаемые на основе асбеста (например, асбестовый войлок), смесей асбеста и минеральных вяжущих веществ и на основе вспученных горных пород (вермикулита, перлита).

Эффективность снижения тепловых потерь зависит от коэффициента теплопроводности изоляционного материала и от условий теплообмена с внешней средой.

В работе проверили эффективность теплового покрытия трубопроводов от котельной ИГЭУ до зданий студенческих общежитий. Провели сравнение следующих теплоизоляционных материалов: минеральной ваты, стеклянной ваты, перлита и каучуковой оболочки.

В результате расчёта установили, что наиболее оптимальной изоляцией трубопроводов от котельной ИГЭУ до общежитий, является

теплоизоляция из перлита. Надо отметить, что данный материал и наиболее экологичен (имеет в своём составе меньший процент вредных веществ).

#### **Библиографический список**

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

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

## **ОПТИМАЛЬНОЕ СОЧЕТАНИЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И МАТЕРИАЛА ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ В РЕАКТОРАХ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ**

Реактор на быстрых нейтронах (реактор БН) – ядерный реактор, в активной зоне которого нет замедлителей нейтронов. Он позволяет получать вторичное топливо, образуя замкнутый цикл и увеличивая потенциал использования ядерного топлива от доступных 3 до 30 %, что обеспечит перспективу ядерной энергетике на тысячелетия.

В качестве теплоносителей в таких реакторах из-за теплофизических характеристик наиболее часто используют жидкие металлы [1]. Для конструкционных материалов реактора БН также должны выполняться определённые требования: хорошая технологичность, стабильность свойств при высоких температурах, необходимая прочность и пластичность, высокие температуры плавления [2].

В данной работе рассматривали жидкометаллические теплоносители и конструкционные материалы для изготовления оболочек твэлов, имеющие наибольший потенциал в практическом применении в реакторах БН. Провели поиск оптимального сочетания материалов, которое позволяет получить наибольший теплоотвод в активной зоне ядерного реактора.

В качестве теплоносителей исследовали жидкие натрий и свинец, а также свинцово-висмутовую эвтектику. В качестве конструкционных материалов ядерной техники рассматривали титан ВТ1-0, цирконий Э110, цирконий Э635, нержавеющая сталь 316SS и вольфрам. Нарастающую с увеличением температуры химическую активность материалов в данной работе не учитывали.

В ходе расчётов было доказано преимущество использования натриевого теплоносителя и трубок из вольфрама. Результаты этого анализа показывают, что у вольфрама имеются большие перспективы использования в реакторах на быстрых нейтронах.

**Библиографический список**

1. Усынин Г.Б., Кусмарцев Е.В. Реакторы на быстрых нейтронах: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Ф.М. Митенкова. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 288 с.
2. Будов В.М. Конструирование основного оборудования АЭС : учеб. пособие для инж.-физ. и энерг. спец. вузов / В. М. Будов, В. А. Фарафонов. –М. : энергоатомиздат, 1985. – 264 с.

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

## **СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

Все способы охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) по методу действия можно разделить на две основные группы: на пассивный и активный методы.

Для первого характерен естественный путь отвода тепла при помощи конвекции, теплопроводности и излучения. Для второго принудительный теплоотвод с применением вентиляторов, термоэлектроохладителей и омывающих жидкостей. У некоторых полупроводниковых силовых приборов уровень поверхностной плотности тепловых потоков достигает  $(0,5 \div 5) \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> [1]. Для системы воздушного охлаждения широкое применение получили радиаторы, которые различаются по виду развитой площади поверхности, а именно пластинчатые, ребристые, игольчато-штыревые, типа «краб», жалюзийные, петельно-проволочные [1]. С уменьшением микронных норм уменьшается и площадь кристалла самого ядра, что ведет к увеличению плотности теплового потока. В этом случае медь стала более эффективной в использовании, чем алюминий [2]. Совершенствование технологий в электротехнике привело к созданию миниатюрных электродвигателей и стало возможным появление крошечных вентиляторов [3]. Есть и интерфейс между чипом и радиатором, основанный на эффекте Пелтье. Эффект заключается в том, что напряжение, поданное на два противоположных друг другу материала вызывает разницу температур. Система жидкостного охлаждения предназначена для принудительного отвода от внутренних устройств ПК лишнего тепла и передачи его окружающему воздуху. По своим конструктивным особенностям системы жидкостного охлаждения имеет смысл разделить на два

типа: системы, где охлаждающая жидкость приводится в движение помпой в виде отдельного механического узла, а также без помповые системы жидкостного охлаждения, использующие специальные хладагенты, которые в процессе переноса тепла проходят через жидкую и газообразную фазы.

#### Библиографический список

1. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа, 1984.
2. Ященко А. Технология охлаждения процессоров. <http://3dnews.ru/171108>
3. Вихарев Л. Как нужно работать, чтобы не сгореть на работе, или кратко о методах и средствах охлаждения РЭА. <http://kursar.ru>

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

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПРОЦЕССОРАМИ РЭА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ИХ ТЕПЛОВОГО ВЛИЯНИЯ ДРУГ НА ДРУГА**

Работа посвящена оптимизации вычислительных процессоров, как основных тепловыделяющих элементов радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и определению температуры между ними в зависимости от расстояния. Это позволит уменьшить перегревы элементов суперкомпьютеров в кладке процессоров и повысить надежность их функционирования [1].

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

Численное моделирование температурных полей было проведено для процессоров электронных устройств – Intel Core i3, Intel Core i5, Intel Core i7. На первом этапе было выполнено твердотельное моделирование объекта исследования – четырех процессоров, расположенных в замкнутом объеме корпуса. Расчеты были проведены для процессоров, находящихся на расстоянии 5, 10, 15, 20, 30 и 40 мм друг от друга. Получены графические зависимости изменения температурного поля между процессорами, расположенными на различных расстояниях.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что температура между процессорами Intel Core i3 на расстоянии 15 и 20 не изменяется, а для процессоров Intel Core i5 не изменяется на расстоянии 10

и 15 мм и 30, 40 мм. Но расстояние 10 и 15 мм предпочтительнее для размещения процессоров.

#### Библиографический список

1. **Корочкина, Е.Е.** Моделирование теплового режима микропроцессорной аппаратуры тканепечатного агрегата / Е.Е. Корочкина, М.А. Корнилов // Известия Вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. №2. – С.135-138.

2. **Оптимизация** проектирования электронных блоков управления технологическим оборудованием с внутренними источниками теплоты/ Е.Е. Корочкина, О.В. Блинов // Сб. материалов XXIV Междунар. науч.-практ. Форума «SMARTEX-2021» -Иваново: ИВГПУ, 2021. – С.111-117.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТЕПЛОВОЙ КОМФОРТНОСТИ НА ЧЕЛОВЕКА В ЖИЛОМ ПОМЕЩЕНИИ

В жилых помещениях требуется поддерживать определенный микроклимат, создающий благоприятные условия для находящихся в них людей. Комфортные для человека микроклиматические условия в квартире позволяют не беспокоиться о негативных последствиях для здоровья. Однако в последнее время часто возникают проблемы, связанные с некомфортными для человека тепловыми условиями в жилых помещениях, особенно в холодный период года. При этом формальные требования нормативных документов к микроклимату жилых помещений не нарушаются.

Цель данной работы – исследовать от чего зависит комфортная температура для человека внутри жилого помещения и чем определяются условия комфортности.

На основании данных приведенных в [1] и требований нормативных документов построен график зон комфортной температуры воздуха и ограждений в жилых помещениях. Анализ графика показал, что для нормального теплоощущения человека в помещении при пониженной температуре ограждений следует повышать температуру воздуха, и наоборот, при повышенной температуре ограждений – температуру воздуха необходимо уменьшить.

В ходе работы проведено измерение температуры и относительной влажности воздуха, а также температуры стен, пола и потолка в нескольких помещениях в зимний период. Выполнен анализ соблюдения условий тепловой комфортности.

В результате проведенного теоретического и экспериментального исследования можно сделать вывод, что комфортная температура в жилом помещении зависит от усредненной температуры на поверхностях ограждений, температуры воздуха в помещении, а также от интенсивности выполняемой физической работы. Если человек не совершает никакую работу, то температура воздуха  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  – это нижний предел зоны комфортной температуры и человеку в зимний период при такой температуре может быть холодно. Однако, если человек совершает легкую или среднюю работу, то эта температура окажется оптимальной.

#### Библиографический список

1. Сканави А.Н. Отопление –М.: Стройиздат, 1988. –416 с.

*Д.А. Михальцов, студ.; А.К. Гаськов, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЁТА ПРОЦЕССА СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ СТЕНКИ КЛАССИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

Теплопередача – это процесс передачи теплоты между двумя текучими теплоносителями и она является одним из наиболее часто используемым и важных способов теплообмена в теплоэнергетических установках [1]. Студенты ИГЭУ, изучающие курс «Тепломассообмен», получают навык расчёта процесса теплопередачи через стенки классической формы – плоскую, цилиндрическую и шаровую.

Нами разработан вычислительный комплекс для расчёта стационарной теплопередачи через многослойные стенки классической формы, реализованный в среде MS Excel. Вычислительный комплекс представляет собой набор из двенадцати таблиц Excel, сгруппированных в одном файле в виде вкладок. В каждой вкладке реализован алгоритм [1] автоматического расчёта процесса стационарной теплопередачи через стенку соответствующей формы и количества слоёв в ней (от двух до пяти слоёв) по заданным исходным данным. Рабочая область каждой вкладки разбита на два подраздела – ввод исходных данных и результаты расчёта.

В качестве исходных данных задаются: геометрические параметры стенок (толщину слоёв, внутренний диаметр для цилиндрической и шаровой стенки, площадь плоской стенки и длину цилиндрической стенки); коэффициенты теплопроводности каждого слоя; коэффициен-



ты теплоотдачи от горячей и к холодной текучим средам; температуры сред или на границах слоёв; тепловой поток.

По мере ввода исходных данных происходит автоматическое выполнение расчёта параметров процесса теплопередачи, результаты которого отображаются в соответствующем разделе листа. Рассчитываются термические сопротивления каждого участка теплопередачи, коэффициент теплопередачи, тепловой поток и все незаданные температуры на границах слоёв.

Вычислительный комплекс внедрён в учебный процесс кафедры ТОТ ИГЭУ и применяется для составления и проверки контрольных заданий по разделу «Теплопередача».

#### Библиографический список

1. Исаченко В.П. Теплопередача. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб и доп. М.: «Энергия», 1975.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

При изучении дисциплины «Тепломассобмен» большое внимание уделяется теме «Теплопроводность», которая имеет большую практическую значимость при рассмотрении теплотехнических процессов. При её изучении рассматривается протекание и нестационарного процесса кондукции, который является наиболее сложным для проведения расчёта. Существуют как численные, так и аналитические методы нахождения температурных полей для тел простой формы [1] для этого процесса, однако для их реализации требуются большие затраты времени.

В настоящее время широко используется имитационное компьютерное моделирование технологических процессов на основе компьютерных моделей. Большими вычислительными возможностями для изучения теплообменных процессов обладает программный комплекс COMSOL Multiphysics [2]. В основе проводимых им вычислений лежит метод конечных элементов – численный метод решения дифференциальных уравнений в частных производных.

С использованием программного комплекса COMSOL был выполнен многовариантный расчёт нестационарной теплопроводности для тел простой формы при граничных условиях I, II и III рода, в ходе которого задавались размеры расчётной области, теплофизические свой-

ства вещества из которого состоит рассматриваемое тело и начальные условия. Получены в наглядном виде одномерные, нестационарные температурные поля для этих тел. В программе использовалась возможность учёта зависимости коэффициента теплопроводности вещества от температуры.

Составлены методические рекомендации по расчету нестационарной теплопроводности для тел простой формы в программном комплексе COMSOL Multiphysics, что позволит студентам проводить исследования этого процесса в условиях численного эксперимента.

#### **Библиографический список**

1. Бухмиров, В.В. Тепломассообмен: уч. пособие / В.В. Бухмиров // ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» Иваново, 2014. 360 с.
2. Горбунов, В.А. Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете FEMLAB: уч. пособие / В.А. Горбунов // ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» Иваново, 2008. 216 с.

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

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА АЛЛАМА В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

Основная часть электрической и тепловой энергии в РФ производится на ТЭС. Современная теплоэнергетика характеризуется использованием технологического оборудования и процессов, которые основаны на термодинамических циклах Карно и Ренкина, и обладают невысоким КПД, повышенным удельным расходом топлива и большими выбросами продуктов сгорания в атмосферу. Одним из перспективных направлений совершенствования технологии получения энергии является внедрение ТЭС на базе термодинамического цикла Аллама, в котором основным рабочим телом является углекислый газ при сверхкритических параметрах, при этом он не выбрасывается в атмосферу, а используется в технологическом процессе или утилизируется.

Принцип действия тепловой схемы, реализующей цикл Аллама состоит в следующем. Атмосферный воздух поступает на воздухоразделительную установку, где из него выделяется молекулярный кислород, и направляется в камеру сгорания. Туда же поступает природный газ или газ после газификации твёрдого топлива. В ходе сгорания газа в чистом кислороде образуется смесь углекислого газа и водяных паров. Отсутствие молекулярного азота предотвращает образование токсичных оксидов азота. В камере поддерживается температура не менее 1200 °С и давление в 30 МПа. При таких параметрах углекислый газ

приобретает сверхкритические свойства. Продукты сгорания с высокими параметрами поступают в газовую турбину, где они совершают работу, при этом температура этих газов снижается до 750 °С. Отработавшие продукты сгорания направляются в теплообменник, где происходит их охлаждение до 50 °С и водяной пар переходит в конденсат, который отделяется в сепараторе. Поток оставшегося углекислого газа проходит компрессор, где он разделяется: один поток направляется на утилизацию, а другой отводится обратно в камеру сгорания для снижения температуры горения природного газа и последующей циркуляции.

В цикле Аллама теплота остаётся внутри системы, что позволяет уменьшить необходимый расход топлива, подаваемого на поддержание высокой температуры. Исследования показали, что расчётный КПД составляет до 60 %, что значительно выше КПД традиционного паротурбинного цикла.

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

## **СРАВНЕНИЕ ЦИКЛА РЕНКИНА С ЦИКЛОМ КАЛИНЫ**

Основное различие между классическим циклом Ренкина и циклом Калины заключается в том, что в цикле Калины используется в качестве рабочей жидкости смесь аммиака и воды. Оба вещества недороги и интенсивно используются в промышленности.

Температура кипения водного раствора аммиака при заданном давлении зависит от концентрации раствора, что позволяет увеличить среднюю температуру рабочего тела при подводе теплоты и понизить температуру рабочего тела при отводе теплоты (рис. 1).

Сравнить КПД данных циклов можно используя понятие эквивалентного цикла Карно. КПД цикла Калины выше КПД цикла Ренкина, т.к. цикл Калины имеет более высокую среднюю температуру подвода тепла и более низкую среднюю температуру отвода тепла.

Для повышения КПД и экономии энергии в цикле Калины устанавливают рекуператор, что позволяет перенести некоторое количество тепла от точки 4 в точку 2 (рис. 1). Использование регенерации теплоты делает цикл Калины ещё более эффективным по сравнению с классическим циклом Ренкина.

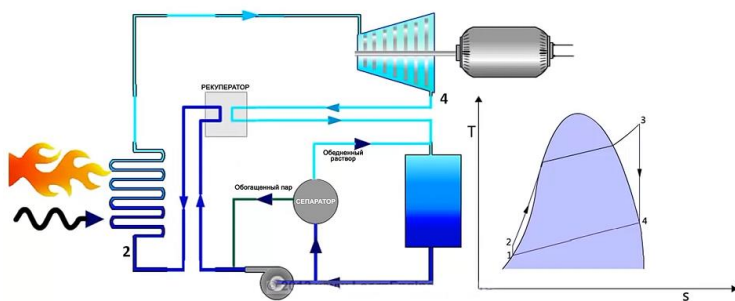


Рисунок 1 – Принципиальная схема и T,s-диаграмма цикла Калины

Применяется цикл Калины главным образом там, где нужно получить электроэнергию от источников тепла сравнительно низкой температуры. Геотермальные электростанции с циклом Калины построены в США, Германии, Исландии и Японии.

*И.И. Светушков, асп.,  
рук-ли В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.; М.В. Родионова, к.т.н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЩЕЖИТИЯ ИГЭУ

Воздухообмен здания необходимо учитывать, как при определении тепловых потерь объекта в целях проектирования систем энергообеспечения, так и при создании комфортных условий для пребывания людей в соответствии с действующими санитарно-гигиеническими нормами [1].

В апреле 2023 г. был выполнен комплекс работ по определению энергетической эффективности вводимого в эксплуатацию нового общежития ИГЭУ, который включает в себя и измерение кратности воздухообмена и воздухопроницаемость ограждающих конструкций в соответствии с [2]. Экспериментальная установка представляет собой раздвижную воздухопроницаемую раму, устанавливаемую в проем ограждения испытываемого объекта, со встроенным вентилятором. В обследуемое помещение нагнетают воздух до достижения разности давлений в помещении и окружающей среде 50 Па. Расход воздуха в указанном режиме фиксируют в протоколе и пересчитывают на стандартные атмосферные условия. Кратность воздухообмена определяют, как отношение расхода воздуха к объему помещения.

В результате обработки экспериментальных данных получено, что кратность воздухообмена для трех помещений общежития составляет 2,64, 2,89 и 2,43 ч<sup>-1</sup>, что не превышает ограничения кратности воздухообмена равное 4 ч<sup>-1</sup> для зданий с естественной вентиляцией [3].

Для выполнения санитарно-гигиенических норм с учетом требований [4] значение воздухообмена должно быть не менее 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилой площади. В опыте выявлено, что указанное требование для ввода в эксплуатацию общежития ИГЭУ также выполняется.

Таким образом, экспериментальное исследования воздухопроницаемости ограждающих конструкций позволяет сделать вывод о соответствии воздухообмена общежития ИГЭУ требованиям действующего законодательства.

#### Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Пророкова М.В. Энергосбережение и качество микроклимата // Вестник Череповецкого государственного университета, № 2 (63). – С. 32-35.
2. ГОСТ 31167-2009 «Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций».
3. СП 50.13330.2012 «Свод правил. Тепловая защита зданий»
4. СП 54.13330.2016 «Свод правил. Здания жилые многоквартирные»

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

## РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ОКОЛО КОРПУСА ТУРБИНЫ В ПВК ANSYS

В ПВК Ansys разработана математическая модель сопряженного теплообмена в системе корпус турбины, покрытый изоляцией, который находится в воздушной окружающей среде с целью расчета толщины теплового пограничного слоя (ТПС). Расчет выполнен для исходных данных, которые можно подразделить на две группы: данные предоставленные цехом и справочные данные [1]. Тепловая изоляция турбины состоит из базальтовых матов, а сам ЦВД турбины состоит из стали 20ХМФЛ. Толщина металла – 120 мм, толщина изоляции (базальтовые маты) – 320 мм, наружный диаметр ЦВД ТГ-1 равен 2900 мм. Температура окружающего воздуха в турбинном отделении изменялась в диапазоне 23,00°С – 32,00 °С.

Математическое моделирование внутреннего и внешнего теплообмена в ПВК Ansys основано на численном решении системы дифференциальных уравнений теплопроводности и уравнений переноса теплоты и импульса в условиях свободной конвекции в стационарном режиме теплообмена. При этом толщина теплового пограничного слоя определялась по изменению температуры вблизи корпуса турбины.

Адекватность численного решения в ПВК Ansys проверена сравнением с известным аналитическим решением [2].

В результате расчета в ПВК Ansys получено, что при температуре в турбинном отделении 23,50 °С толщина теплового пограничного слоя составляет 44 мм, а температура воздуха вблизи поверхности турбины равна 27,10 °С. При температуре в турбинном отделении 31,50 °С толщина ТПС составляет 46,2 миллиметра, а температура воздуха вблизи поверхности турбины 34,70 °С

Вывод. При помощи ПВК Ansys был разработан модуль расчета теплового пограничного слоя около корпуса турбины с целью уточнения тепловых потерь в турбинное отделение. Данная информация необходима для расчета параметров микроклимата в турбинном цехе.

#### Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен»; ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново. – 2017. –120 с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов.- 1981. -416 с.

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

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ КИПЕНИИ

При обработке опытных данных часто возникает задача определения функциональной зависимости между измеряемыми величинами, которая аппроксимирует результаты эксперимента в виде наперед заданной зависимости. В процессе выполнения лабораторной работы «Исследование теплоотдачи при кипении» на основе результатов эксперимента, полученных для пузырькового режима кипения воды при атмосферном давлении, необходимо получить зависимости коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока  $\alpha = B \cdot q^m$  и от перегрева

$\alpha = C \cdot \Delta T^n$ . Для этого требуется определить эмпирические коэффициенты  $B$ ,  $C$ ,  $m$  и  $n$ , используя метод наименьших квадратов. Суть метода наименьших квадратов заключается в минимизации суммы квадратов отклонений выбранной функции от исследуемых данных.

Целью данной работы является расчет эмпирических коэффициентов методом наименьших квадратов разными способами, а также оценка эффективности этих способов и трудоемкости их применения.

Рассмотрены три способа расчета эмпирических коэффициентов методом наименьших квадратов:

- 1) самостоятельное составление алгоритма и расчет по формулам в среде Excel;
- 2) использование встроенных математических функций в среде Excel,
- 3) расчет с использованием готовых математических пакетов из Интернета.

Выполнен анализ данных четырех натуральных экспериментов. В результате наиболее эффективным оказался первый способ расчета – ошибка аппроксимации составила 0,315 %. Наименее эффективный второй способ – ошибка аппроксимации 13,1 %. Использование готовых математических пакетов позволяет эффективно вычислять аппроксимирующую функцию, так как ошибка аппроксимации не превысила предельного значения в 6 % ни в одном эксперименте.

Результаты данной работы использованы при составлении методических указаний для проведения лабораторных занятий по курсу «Тепломассообмен».

*К.М. Трухина, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **НАУЧНЫЕ ТРУДЫ АКАДЕМИКА САМСОНА СЕМЕНОВИЧА КУТАТЕЛАДЗЕ – ДОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА!**

Академик Самсон Семенович Кутателадзе (1914-1986) – действительный член (1979), член-корреспондент (1968) АН СССР, доктор технических наук (1953), профессор (1954). Специалист в области теплофизики, гидродинамики, газожидкостных систем, новых проблем энергетики [1].

Его научная деятельность была посвящена развитию теории теплообмена, в частности кипения; теории турбулентного пограничного слоя; гидродинамике газожидкостных систем; проблемам физического моделирования. Разработал общие условия подобия процессов теплообмена и движения при изменении агрегатного состояния вещества и ввёл соответствующий критерий подобия.

Особое значение имеет монография «Основы теории теплопередачи при изменении агрегатного состояния вещества» – первая в мировой литературе на эту тему. В гидродинамике газожидкостных систем С.С. Кутателадзе принадлежат исследования общих закономерностей процессов течения в трубах, барботажа и других процессов. Сформулиро-

вал относительные предельные законы трения и теплообмена в турбулентных пограничных слоях и рассмотрел их приложения. Под его руководством открыты явления влияния сжимаемости на теплообмен и гидродинамику газожидкостных систем при малых осреднённых скоростях движения и существование автомодельной области теплообмена при плёночной конденсации.

Самсон Семенович – основатель одной из ведущих научных школ в области теплофизики и гидрогазодинамике. Более 60 его учеников и непосредственных сотрудников стали кандидатами, более 30 – докторами наук, некоторые из них – членами Академии наук [2].

#### **Библиографический список**

1. Кутателадзе Самсон Семенович // Российская академия наук. Сибирское отделение: Персональный состав / Сост. Е.Г. Водичев и др. – Новосибирск: Наука, 2007. – С.148-149.
2. К 90-летию со дня рождения академика Самсона Семеновича Кутателадзе // Теплофизика и аэромеханика. – 2004. – Т.11, N 3. – С. 497-498.

*О.Р. Устинова, студ.; А.К. Гаськов, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЗЫРЬКОВОГО РЕЖИМА КИПЕНИЯ ВОДЫ**

Процессы кипения имеют широкое практическое применение в теплоэнергетике, атомной промышленности, химической технологии и ряде других отраслей промышленности и техники [1].

В данной работе выполнено экспериментальное исследование пузырькового режима кипения воды на лабораторном стенде кафедры ТОТ ИГЭУ. Лабораторная установка представляет собой горизонтальную медную трубку диаметром 30 мм и длиной 100 мм внутри которой расположен электрический нагреватель из нихромовой проволоки. Медная трубка помещена в ёмкость с предварительно нагретой до состояния насыщения дистиллированной водой. Теплота, выделяемая на электронагревателе передаётся к воде за счёт конвективной теплоотдачи в режиме пузырькового кипения. При помощи лабораторного автотрансформатора возможно регулирование напряжения, подаваемого на электронагреватель и, соответственно, его мощности.

Была проведена серия опытов при различных значениях мощности электронагревателя, в ходе проведения, которых измерялись следующие параметры – электрическая мощность нагревателя, температура воды и температура поверхности медной трубки.



На основе обработки данных эксперимента рассчитана величина коэффициента теплоотдачи при пузырьковом режиме кипения воды в широком диапазоне тепловых нагрузок на поверхности медной трубки. Экспериментальные значения коэффициента теплоотдачи были сравнены с теоретическими [1, 2] и анализ показал высокую сходимость теории и эксперимента.

По итогу выполнения работы получены новые данные о режимах работы лабораторной установки и определены оптимальные параметры её эксплуатации. Результаты исследования учтены при написании методического указания для выполнения лабораторной работы на экспериментальном стенде, а так же для составления перечня заданий для выполнения лабораторной работы студентами заочного факультета.

#### Библиографический список

1. Исаченко В.П. Теплопередача. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб и доп. М., «Энергия», 1975.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. Изд. 4-е, перераб. Новосибирск., «Наука», 1970.

*Д.Р. Цветков, К.И. Шведов студ.;  
рук. Т.Е. Созинова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ЧЕРНОТЫ ТВЁРДЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В ходе расчёта теплового потока излучением от реальных тел в окружающую среду необходимо знать величину интегральной степени черноты ( $\epsilon$ ) конкретного материала. Значение  $\epsilon$  зависит от физических свойств тела, его температуры и от состояния поверхности тела (его шероховатости, пористости, степени окисления и пр.) [1].

Цель данной работы заключается в определении степени черноты медной трубки экспериментальной установки, размещённой в лаборатории кафедры Теоретических основ теплотехники [2].

Тепловой поток от поверхности трубки в окружающую среду создает цилиндрический нагреватель, расположенный внутри трубки. В процессе теплоотдачи от исследуемого образца теплота передается излучением и конвекцией. Конвективную составляющую определяли по закону Ньютона, а коэффициент конвективной теплоотдачи – по критериальным уравнениям.

Было проведено 20 экспериментов при разных мощностях нагревателя в диапазоне от 37 В до 60 В.

В программе Excel разработали алгоритм автоматического расчета с выводом результатов промежуточных вычислений. В созданной таблице также автоматически происходит интерполяция теплофизических параметров, необходимых для расчета коэффициента конвективной теплоотдачи.

Разработанный вычислительный модуль можно использовать как для практических расчетов по определению интегральной степени черноты любого реального объекта, так и учебных целях при изучении курса Теплообмен.

#### Библиографический список

1. Бухмиров В.В. Теплообмен: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. Бухмиров В.В., Пророкова М.В., Созинова Т.Е. Исследование теплоотдачи в условиях свободной конвекции на горизонтальном цилиндре: МУ: №2564 / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2017. – 18 с.

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

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ И ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРОВОГО КОТЛА МАРКИ К-50-40

В паровом котле организуется сжигание органического топлива, при этом выделяется теплота, которая расходуется на нагрев питательной воды, генерацию и перегрев пара. Некоторое количество теплоты при этом теряется. Эффективность использования теплоты в паровом котле оценивается тепловым КПД, который может быть определен из уравнения прямого или обратного теплового баланса [1]. Этот показатель характеризует только количество тепловой энергии и не учитывает её качество. Эксергетический баланс даёт качественную оценку тепловым процессам, происходящим в котельной установке, и позволяет выявить пути повышения их термодинамической эффективности. Эксергетический баланс котла позволяет не только оценивать качество полезно затраченной теплоты и всех потерь, найденных из теплового баланса, но и выявить потери, которые в тепловом балансе не находят отражение.

Был выполнен энергетический и эксергетический анализ для парового котла марки К-50-40 (Е-50-3,9-440 КТ) на основе результатов конструкторско-поверочного расчёта при номинальной паропроизводительности и температуре окружающей среды  $t_{oc} = 30$  °С.

Коэффициент использования теплоты топлива по тепловому балансу составил  $\eta_k = 90,9$  %, а отношение полезно используемой эксергии

(эксергия пара) и затраченной (эксергия топлива) составил  $\eta_e = 42,0$  %. Невысокое значение эксергетического КПД обусловлены значительными потерями, возникающими в процессе передачи теплоты от топлива, обладающего химической энергией высокого потенциала, к низкопотенциальному. Таким образом, паровой котёл является эффективным с позиции первого закона термодинамики и весьма несовершенным с точки зрения второго закона термодинамики.

Эксергетический баланс котла указывает, пути повышения его энергетической эффективности. Так, повышение температуры горения, приведёт к снижению потери энергии при горении. Повышение параметров пара приводит к уменьшению потерь от необратимости теплообмена, что увеличивает эксергетический КПД.

#### Библиографический список

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

**СЕКЦИЯ 5**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

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

Секретарь  
ассистент **Козлова М.В.**

*М.В. Маркина, асп.;*

*Н.Т. Амосов, к.т.н., доц. (СПбПУ, г. Санкт-Петербург)*

## РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА АПАТИТСКОЙ ТЭЦ

Оптимизация работы ТЭЦ – важнейшая задача по повышению экономической эффективности работы станции [1] на ОРЭМ, в частности – по увеличению маржинального дохода ТЭЦ путем использования цифровых двойников энергообъектов. Настоящая работа – результат взаимодействия СПбПУ и АО «НБИ» по разработке цифрового двойника Апатитской ТЭЦ в программе Gurobi.

В ходе работы были исследованы НТД оборудования ТЭЦ, характеристики расхода топлива. Математические зависимости экспортировались в узел топливоподачи, группы котлов ПК-10п-2, турбин ПР-28-90/10/2, Р-21-90/8, Т-85/90-2,5, Р-68-90/2,5, бойлеров при наполнении цифрового двойника. Разработана топологическая схема из математических компонентов – узлов, термопреобразователей, линий передач, гибких договоров (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Топологическая схема цифрового двойника Апатитской ТЭЦ

Критерием адекватности разработанного цифрового двойника служит оценка погрешности расчета расхода топлива для двойника и сравниваемая с реальными расходами топлива на ТЭЦ за 07.12.2021 г. – погрешность составила 0,77% (менее 3%).

### Библиографический список

**1. Чучуева, И. А.** Оптимизация работы ТЭЦ в условиях оптового рынка электроэнергии и мощности России / И. А. Чучуева, Н. Е. Инкина // . – 2015. – № 8. – С. 195-238.

*Е.Н. Василенко студ.; Д.С. Охапкин студ.;  
рук. А.В. Коновалов к.т.н. доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТОВ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ ДЛЯ СУШКИ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

Процесс сушки используется для улучшения качества конечного продукта, снижение его объемной массы, повышение прочности, увеличение срока службы.

В процессе переработки древесины образуется много вспомогательных материалов, которые можно использовать для вторичной переработки. Такими материалами являются: стружка, опилки, которые можно использовать после дополнительной просушки в котлах утилизаторах, для выработки дополнительной энергии в виде пара или горячей воды. Многие сушильные установки используются для высушивания данного типа материала, но исследования показывают, что наиболее эффективен метод с использованием аппаратов со встречными закрученными потоками.

В ходе работы мы рассматриваем установку со встречными закрученными потоками (ВЗП) в качестве сушильной установки. ВЗП подходит для сушки дисперсных материалов, так как имеет два встречных закрученных потока, благодаря которым происходит процесс высокоинтенсивной сушки. Встречные потоки предотвращают налипания высушиваемого материала на стенки установки и гарантируют равномерность высушивания материала.

ВЗП являются эффективными с точки зрения улавливания мелкодисперсных материалов, процент улавливания составляет до 99%.

В данной работе приведено сравнение эффективности аппарата ВЗП с другими сушильными установками и указаны их показатели.

### **Библиографический список**

1. **Сажин Б.С., Сажин В.Б.** Научные основы техники сушки- Москва «Наука», 1997г. – 434 с.
2. **Сажин Б.С. Гудим Л.И.** Вихревые пылеуловители – М.: Химия, 1995.-144 с.

*А.С. Румянцев, студ., Д.Е. Молодкин, студ.;  
рук. А.В. Коновалов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЫБОР УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУШКИ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

На каждом пищевом предприятии в результате производства появляется не требующийся в рамках данного технологического процесса вид сырья, часто идущий в отходы. Значительное его количество образуется в свеклосахарной, спиртовой и пивоваренной отраслях. Большая их часть представляет собой водянистые, труднотранспортабельные, скоропортящиеся продукты [1]. В рамках рассматриваемого производства ООО «Владимирская пивоварня» таким сырьем является пивная дробина – состоящая из ядер и оболочек зерен ячменя и солода, кашеобразная смесь, обладающая хорошей пищевой ценностью.

С целью увеличить срок и удобство хранения, а также упростить способ транспортировки дробины, предлагается установка специального сушильного устройства. Оно призвано снизить количество влаги в сырье до остаточных значений. В такой дробине предприниматель из сектора сельскохозяйственной промышленности заинтересован больше, так как он сможет непосредственно использовать ее для заготовки комбикорма [2].

В свою очередь, пивоваренное предприятие также заинтересовано, поскольку высушенная дробина занимает меньше места и не требует особенных герметичных емкостей как для хранения, так и для перевозки. Таким образом, снизятся затраты на содержание сырья, и увеличится количество возможных заказчиков, в том числе за счет увеличения радиуса возможного экспорта [2].

На данный момент ведётся работа по технико-экономическому обоснованию установки устройства, анализируются возможные затраты и прибыль. Проводятся необходимые расчеты для выбора наиболее эффективных типа и режима работы оборудования.

### **Библиографический список**

**1. Капинова О.С., Полянин А.В.** Побочная продукция пищевой промышленности в фокусе рыночной перспективы // Известия юго-западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. - 2017. - т. 7, вып. 4. - с. 149-158.;

**2. Клименко Т.В.** Эффективность использования сухой пивной дробины разной технологии сушки и пробиотика целлюлозы "Т" в комбикормах для растущего молодняка мясошерстных овец; автореф. дис. ... канд. с-х. наук: 06.02.02 – Дубровицы: 2007. – 24 с.

*Д.В. Хомяков, асп.;*

*рук. Л.А. Опарина, д.т.н., доц. (ИВГПУ г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ЛЕТНЕЙ ГЕНЕРАЦИИ ТЭЦ**

Актуальность рассматриваемой проблемы состоит в том, что производство электрической энергии на ТЭЦ нуждается в организационном отведении избыточного тепла, для чего возводятся башенные градирни, брызгальные бассейны, водохранилища-охладители [1]. Однако не для всех ТЭЦ имеются технологические возможности устройства градирен, кроме этого, градирни требуют значительных капитальных затрат и негативно влияют на экологию, поэтому вопрос разработки технических решений по увеличению летней генерации ТЭЦ без устройства градирен является актуальным. Объектом исследования является Западно-Сибирская ТЭЦ, при расширении которой до 600 МВт было также запланировано расширение пруда-охладителя, но эти работы не были выполнены. Существующий пруда-охладитель не может обеспечить работу турбин в конденсационном режиме в летнее время с выработкой электрической нагрузки свыше 250 МВт.

Новизна проведенных исследований заключается в разработке дополнительных брызгальных устройств для обеспечения требуемой генерации электроэнергии в летнее время, выполненных в виде отдельных модулей, каждый из которых оборудован несколькими насосами с подключенными к ним напорными трубопроводами и 3D модели их работы. В отличие от существующих, разработанная конструкция позволяет изменять расход воды на брызгальное устройство в широких пределах.

Личный вклад автора состоит в создании конструкции дополнительного брызгального устройства, разработке методики выбора охладительного устройства по параметрам технико-экономической эффективности, разработке цифрового проекта организации строительства брызгального устройства. Перспективы использования полученных результатов заключаются в том, что их внедрение позволит обеспечить охлаждение циркуляционной воды до температур, отвечающих оптимальным технико-экономическим показателям работы объекта и обеспечить выработку необходимого количества электрической энергии.

### **Библиографический список**

1. **Сокольский А.И.,** Гусев Е.В., Шомов П.А., Пронин В.Ю. Методика тепломассообменного расчета процесса охлаждения технической воды на ТЭЦ при работе пруда-охладителя с брызгальными устройствами // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2022. – № 2. – С. 21-28.



*И.Д. Бубнов, В.М. Кугданов, студ.,  
рук. В.В. Сенников, к.т.н., доцент (ИГЭУ, г. Иваново)*  
**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ СИСТЕМ  
ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ**

В [1] для расчёта значения внутренней температуры воздуха необходимо знать величину относительной тепловой нагрузки  $\bar{Q}_0$  системы отопления здания.

В последнее время индивидуальные тепловые пункты зданий оборудуются узлом учёта тепловой энергии и теплоносителя. При этом показания узла учёта используются как “фактические” для начисления затрат за потребляемую тепловую энергию, и не используются, как “нормативные” – для контроля за режимом работы системы отопления.

С использованием экспериментальных данных узла учёта была определена фактическая максимальная тепловая нагрузка здания, уточнена относительная тепловая нагрузка и рассчитана внутренняя температура воздуха. С целью повышения достоверности исследований режима работы системы теплоснабжения значение внутренней температуры воздуха, характеризующее качество режима системы отопления, определялось:

– по методике [1];

– по уравнению, которое было получено нами с использованием балансовых соотношений. При этом, расход теплоносителя определялся с использованием показаний приборов узла учёта.

При использовании программно-расчётного комплекса ZuluThermo при тех же исходных данных значение внутренней температуры воздуха получается приблизительно на 2 °С ниже, что требует проведения наладки теплогидравлического режима работы систем теплоснабжения.

Вывод. Качество режима систем отопления зданий должно оцениваться с обязательным использованием не расчётных данных, а показаний узла учёта тепловой энергии и теплоносителя.

**Библиографический список**

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

*А.С. Еремеев, студ.;*

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК**

Так как в основном в жилых зданиях организована естественная приточно-вытяжная вентиляция имеет месту проблема нагрева холодного приточного воздуха (инфильтрационного воздуха). Как правило, 50% тепловой мощности систем отопления жилых зданий расходуется на нагрев инфильтрационного воздуха. В данной работе мы рассматриваем вариант распределения части тепловой нагрузки на приточно-вытяжную установку с рекуперацией воздуха, так как огромная часть энергии уходит с вытяжным воздухом, тем самым мы экономим энергетические ресурсы на отопление жилого помещения.

В данной исследовательской работе приведено сравнение энергоэффективности применения индивидуальных вентиляционных установок с естественной приточной-вытяжной вентиляцией, которая предусмотрена изначально архитектурой здания.

Приточно-вытяжная установка в ходе своей работы использует электричество как источник энергии что непосредственно приводит к неизбежным затратам. Таким образом, в том числе была приведена оценка экономической целесообразности применения данного механизма.

### **Библиографический список**

1. **Федеральный закон** № 261 от 23 ноября 2009 г.: [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г.: по состоянию на 11 июня 2021 г.] // Российская газета. – 2009. – 27 ноября (№ 226)
2. **Пыжов, В.К.** Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека: Учебник / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2014. – 524 с.

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

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-РАСЧЁТНОГО КОМПЛЕКСА (ПРК) ЭКСПРЕСС-АУДИТА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ (СО) ЗДАНИЯ**

В настоящее время большинство зданий различного назначения оборудуются узлами учета (УУ) тепловой энергии и теплоносителя.

К сожалению, данные УУ используются только для расчета фактического потребления тепловой энергии зданием и выставлением счетов за потребленную энергию и не используются для контроля и наладки режима работы системы отопления здания.

В ведомостях показаний данных УУ отсутствует ряд важных параметров, характеризующих качество поставляемой тепловой энергии и количество потребленной тепловой энергии по сравнению с договорной нагрузкой.

Авторами разработан специальный программно-расчетный комплекс, который позволяет по данным узла учёта тепловой энергии и теплоносителя:

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

2) определить внутреннюю температуру воздуха в отапливаемом помещении здания за счёт системы отопления;

3) если температура внутреннего воздуха находится вне допустимых значений температур (18-24 С°) – выполнить наладку теплогидравлического режима системы отопления здания;

4) в экономическом разделе оценить затраты на поддержание требуемого режима работы системы отопления здания различными способами.

### **Библиографический список**

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

*А.В. Коньшева, студ.;*

*рук. Б.А. Гильфанов, асс. (КГЭУ, г. Казань)*

## **ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В МЕРОПРИЯТИЯХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Тепловой насос — тепловая машина, устройство для переноса тепловой энергии от источника к потребителю. В отличие от самопроизвольной передачи тепла, которая всегда происходит от горячего тела к холодному, тепловой насос переносит тепло в обратном направлении. Для работы тепловому насосу нужен внешний источник энергии. Наиболее распространённая конструкция теплового насоса состоит из компрессора, теплового расширительного клапана, испарителя и конденсатора. Теплоноситель, циркулирующий внутри этих компонентов, называется хладагентом. Все тепловые машины работают циклически. Вещество, циркулирующее в ТН, называют хладагентом.

Выделяют компрессионные и абсорбционные насосы (по виду передачи энергии), а также геотермальные, воздушные, использующие вторичное тепло (по источнику тепла) и несколько типов по виду теплоносителя входного/выходного контура.

Использование ТН снижает выбросы газов в атмосферу, т.к. используются возобновляемые источники энергии. Также они быстро окупаются за счет энергосбережения.

Использование тепловых насосов вместо традиционных источников тепловой энергии экономически выгодно в связи с отсутствием необходимости в закупке, транспортировке, хранении топлива и расходе денежных средств, связанных с этим, а также за счет освобождения значительной территории, необходимой для размещения котельной, подъездных путей и склада с топливом.

ТН используются не только в промышленности (сушка, рекуперация тепла воздуха, отопление помещений), но и в сельском хозяйстве (поддержание микроклимата) и даже в жилых домах (альтернативное теплоснабжение дома).

Поэтому тема доклада является актуальной в настоящее время в связи с повышением цен на энергоресурсы и углеродный налог, а также усилением глобальных вызовов в области экологии и изменения климата.

### **Библиографический список**

1. **Тепловой** насос: принцип действия, характеристики, классификация тепловых насосов [Электронный ресурс]. URL: <https://itexn.com/7213-teplovoj-nasos-princip-dejstviya-harakteristiki-klassifikacija-teplovyh-nasosov.html?ysclid=lg2d9esld3748559968> (дата обращения: 04.04.2023).

*П.А. Кувшинова, студ.;  
рук. А.В. Коновалов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*  
**ПРОМЫШЛЕННЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ**

Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 №261 регламентирует увеличение количества объектов, использующих в качестве источников энергии вторичные энергетические ресурсы, к которым относят в числе прочего сточные воды промышленных предприятий и жилищно-коммунального сектора. Промышленные сточные воды в окружающей среде всегда были источником опасности. Каждый год в реки, океаны и моря сбрасываются огромные объёмы жидкости, которая содержит всевозможные вредные вещества.

В данной работе мною рассматриваются промышленные сточные воды. Это воды, образующиеся в технологическом процессе или при добыче и обогащении полезных ископаемых, а также воды от охлаждения продуктов и агрегатов. Также проводится расчёт расхода сточных вод, который складывается из бытовых, душевых и производственных стоков предприятий. В связи с разнообразием состава, свойств и расхода сточных вод промышленных предприятий необходима разработка и применение различных методов и сооружений по очистке воды и обработке осадка, поэтому в данной работе исследуются схемы очистки сточных вод. В большинстве случаев при очистке стоков применяют комбинацию нескольких методов.

В заключении проводятся обзор современных технологий обработки осадков и их утилизации: тепловая обработка, жидкофазное окисление, замораживание и оттаивание, сушка осадков на иловых площадках и другие.

**Библиографический список**

1. Яковлев С.В. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. // М.: Стройиздат, 1990.
2. Очистка сточных вод промышленных предприятий: учеб.-метод. пособие [Электронный ресурс] / сост. Т.И. Халтурина. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014.
3. Патент № 2486140 Россия МПК C02F 11/12, C02F 1/46, B01D 43/00 Способ обработки осадков сточных вод/ Т. И. Халтурина, Ю. В. Гаврилова, О. В. Чурбакова, Т. А. Курилина. Оpubл. 27.06.2013, Бюл. № 18.

*Н. А. Франтов, магистр.;*

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

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ МАЛОГО ОБЪЕМА**

Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 №261 регламентирует повышение энергетической эффективности, а также введение мероприятий по энергосбережению.

В данной работе составлена модель стенки конвективной камеры малого объема для сушки древесины с помощью программного обеспечения COMSOL MULTIPHYSICS. С помощью полученной модели рассчитываются теплотери через ограждающие конструкции сушильной камеры, а также проводится анализ распределения температурных полей внутри стенки. Расчетные данные были измерены в ходе эксплуатации сушильной камеры. Сушильная камера спроектирована для небольших объемов сушки и работает в автономном режиме на базе дизельного водогрейного котла. В работе выполнены: тепловой и материальный расчет сушильной установки, расчет выбора оборудования, технико-экономическое обоснование выбранного оборудования.

В заключении дан вывод об эффективности построенной модели для дальнейшей модернизации сушильной камеры и корректировки режима ее работы. Также полученная модель позволяет внедрять мероприятия по энергосбережению в ходе эксплуатации сушильной камеры.

### **Библиографический список**

1. **Богданов, Е. С.** Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины: Центральный научно-исследовательский институт механической обработки древесины / Е. С. Богданов, О. И. Гринькова, В. В. Кулакова. – Архангельск, 1985. – 69 с.
2. **Захаров, В. М.** Сушка твердых материалов: методич. пособие / В. М. Захаров, Н. М. Ладаев. – Иваново, 2004 – 84с.

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

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ ФРАГМЕНТОВ ПРИ МИКРО-ВЗРЫВНОЙ КАПЕЛЬ НА ОСНОВЕ ТАЛОВОГО МАСЛА**

Большое количество научно-исследовательских коллективов занимается разработкой альтернативных видов топлива [1]. Добавки и примеси растительного происхождения к жидким, твердым и композиционным топливам все чаще применяются в транспортном и энергетическом секторах по ряду причин. Основная причина связана с пониженными антропогенными выбросами при частичной замене углеводов на растительные компоненты. Таловое масло является потенциально дешевым сырьем, что делает его применение экологически и экономически привлекательным для дальнейшего применения в качестве сырья для биотоплива. Одним из наиболее актуальных направлений развития топливных технологий является повышение эффективности их распыления за счет эффектов вторичного измельчения. Среди известных способов вторичного измельчения микро-взрывная фрагментация считается наиболее продуктивной вследствие существенно большего роста площади поверхности жидкости в единицу времени [2].

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований, позволивших определить количество и размеры вторичных фрагментов, образующихся при микро-взрыве капель на основе талового масла. Комплексно изучено влияние группы факторов на характеристики вторичных фрагментов: температура нагрева, начальный размер исходных капель, концентрации компонентов. Получены аппроксимационные выражения в виде зависимостей ключевых характеристик от входных параметров.

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

### **Библиографический список**

- 1. Forsberg, C.W.,** Dale, B.E., Jones, D.S., Hossain, T., Morais, A.R.C., Wendt, L.M. Replacing liquid fossil fuels and hydrocarbon chemical feedstocks with liquid biofuels from large-scale nuclear biorefineries // *Applied Energy*. 2021. V. 298. P. 1–8.
- 2. Boggavarapu, P.,** Ramesh, S. P., Avulapati, M. M. & Ravikrishna, R.V. Secondary breakup of water and surrogate fuels: Breakup modes and resultant droplet sizes // *International Journal of Multiphase Flow*. 2021. V. 145. 103816.

**СЕКЦИЯ 6**  
**ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

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

Секретарь  
ассистент **Козлова М.В.**



*Н.И. Горохова, студ;*

*рук. С.Н. Ярунин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, Иваново)*

## АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ С ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИЕЙ УГЛЯ

Во многих регионах России для выработки тепловой и электрической энергии на ТЭЦ широко применяется твёрдое топливо (каменный уголь, бурый уголь, торф)

Как правило уголь используют в качестве топлива для паротурбинных установок (ПТУ). Уголь сжигают в топке энергетического котла. Полученный перегретый пар направляют в теплофикационную паровую турбину.

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

Результаты расчетов показателей энергетической эффективности ПТУ и ПГУ-ВЦГ представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Результаты расчетов показателей эффективности

Показатель	Схема	
	ПТУ	ПГУ-ВЦГ
Вид твердого топлива	Каменный уголь	Каменный уголь
Расход твердого топлива, т/ч	5,5	5,5
Теплота сгорания тв.топлива, кДж/кг	28261,45	28261,45
Располагаемая теплота топлива, МВт	43,18	43,18
Тепловая мощность установки(пар на производство), МВт	33,44	18,09
Электрическая мощность установки, МВт	5,01	13,13
КПД выработки электроэнергии, %	11,61	30,41
Коэффициент использования теплоты топлива, КИТ, %	89,07	72,31

Анализ данных таблицы показывает, что из одинакового количества угля (5,5 т/ч) на ПГУ-ВЦГ можно выработать в 2,62 раза больше электроэнергии, чем на ПТУ. В связи с этим имеем достаточно высокий КПД по выработке электроэнергии 30,41 %

Вместе с тем, на ПТУ можно получить в 2 раза больше тепловой энергии. Этим определяется более высоким КИТ.

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

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ НА ПОВЕРХНОСТИ ОКНА НА ВЫБОР ЗНАЧЕНИЯ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ**

В диссертационном исследовании [1], посвященном совершенствованию систем по созданию динамического микроклимата для помещений со светопрозрачными конструкциями, в которых применяются теплоотражающие экраны, была разработана методика определения минимальной температуры воздуха в нерабочее время для помещений с регулируемым сопротивлением теплопередаче светопрозрачных конструкций (СПК), отличающаяся учетом термовлажностных режимов эксплуатации здания и эффекта от предварительной осушки воздуха. Выбор значения минимальной температуры во многом зависит от температуры точки росы внутреннего воздуха, приведенного сопротивления теплопередачи СПК, температуры наружного воздуха, коэффициента теплоотдачи от внутреннего воздуха к поверхности СПК и температурного запаса. Температурный запас по недопущению конденсации  $\Delta t$  определяется в большей степени разностью температур на поверхности СПК в центральной и краевых зонах. В исследовании [1] температурный запас  $\Delta t$  и коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  были приняты постоянными величинами.

В данной работе произведено уточнение вышеуказанной методики путем нахождения реальных значений  $\Delta t$  и  $\alpha$  для определенных конструкций СПК с экранами. Для этого моделировали процесс теплопередачи через оконный блок, включающий в себя двухкамерный стеклопакет формулой СПД  $4M_1-10-4M_1-10-4M_1$  и деревянную раму. Со стороны холодного отделения размещали от одного до трех теплоотражающих экранов. Были получены температурные поля как на поверхностях конструкции, так и в её разрезе, а также линии и скорости воздушных потоков в прослойках. Было выявлено изменение коэффициента теплоотдачи со стороны теплого отделения по высоте стеклопакета, а также температуры на его внутренней поверхности.

### **Библиографический список**

**1. Смирнов Н.Н.** Совершенствование систем по созданию динамического микроклимата для помещений с энергоэффективными светопрозрачными конструкциями: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Смирнов Николай Николаевич. – Иваново, 2022. – 333 с.

Д.А. Золин, студ.;

рук. А.В. Банников, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ «КАНАДСКОГО КОЛОДЦА» ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

В настоящей работе проведено исследование условий применения «канадского колодца» для предварительного подогрева наружного вентиляционного воздуха, предназначенного для подачи в жилое здание в условиях средней полосы России.

Канадский колодец – это система использования тепла земли для отопления зимой и охлаждения летом [1].

В качестве изучаемого объекта принято жилое здание из силикатного кирпича с внутренним объемом  $V=254 \text{ м}^3$ . Расчетная температура воздуха внутри помещения принята  $t_{в}=18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , расчетная температура наружного воздуха принята  $t_{нр}=-29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для указанных обстоятельств нагрузка на систему вентиляции составит  $Q_{в} = 4025 \text{ Вт}$  [2]. При принятой кратности воздухообмена, равной единице, диаметр трубы «канадского колодца» равен  $d_{\text{вн}}=0,29 \text{ м}$ . На основании [3] были рассчитаны тепловые потоки  $Q$  от труб (гладких и с внутренним оребрением) к проходящему через них воздуху. Полученные зависимости  $Q$  от длины трубы представлены на рис.1. В настоящий момент проводятся дальнейшие исследования для рационализации использования такой системы подогрева вентиляционного воздуха.

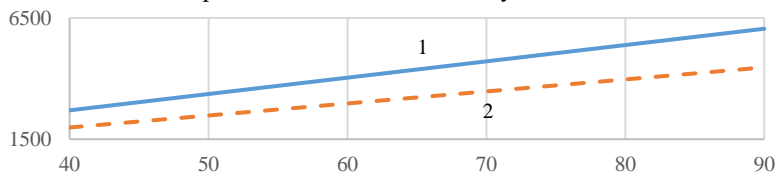


Рисунок 1 - Зависимость теплового потока от длины трубы: 1 – оребренная труба; 2 – гладкая труба

### Библиографический список

1. Токарева, А. Н. Особенности расчета геотермальной системы вентиляции / А. Н. Токарева, С. В. Панченко // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. – № 2(22). – С. 38-42. – EDN RTWMTZ.
2. Пыжов В.К. Энергетические системы обеспечения жизни и деятельности человека: учебное пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». - Иваново, 2008. – 496 с.
3. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: Учебное пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2014. – 360с.

М. В. Белоногов, асп.;

рук. Р.И. Егоров, к.ф.-м.н. (ТПУ, г. Томск)

## СВОЙСТВА СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ, СОДЕРЖАЩИЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ МАСЛА

Традиционно, самый популярный метод получения электроэнергии - это тепловая генерация за счет сжигания угля. Однако, из-за устаревших технологий и истощения ископаемых ресурсов, с каждым годом производство энергии дорожает [1]. С другой стороны, острым остается и проблема загрязнения окружающей среды угольными электростанциями [2].

Использование технологий сжигания традиционных топлив совместно с растительными маслами может решить часть проблем. Применение возобновляемого компонента в составе смеси позволяет уменьшить потребление не возобновляемых ресурсов. Теплофизические свойства смесевых топлив могут быть существенно выгоднее свойств их компонентов. В составе смеси недостатки одного компонента могут быть компенсированы преимуществами второго компонента [3].

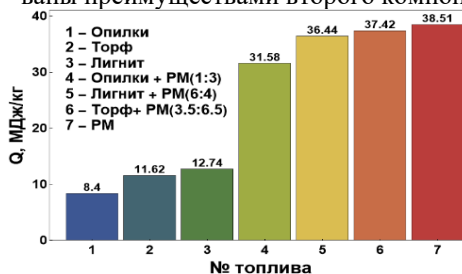


Рисунок 1 – Теплотворная способность смесевых топлив и его компонентов

На рисунке 1 показаны удельные теплотворные способности смесевых топлив и их компонентов. Можно сделать вывод, что добавление рапсового масла в состав смеси позволяет существенно повысить её теплоту сгорания даже, если доля масла менее 50 вес.%. В сравнении с отдельно взятыми твердыми компонентами смесевых топлив, теплота сгорания смесевого топлива увеличивается в 3 раза.

Предметом данного исследования являются термохимические свойства смесевых топлив на основе рапсового масла.

### Библиографический список

1. Tchappda A.H., Pisupati S.V. A review of thermal co-conversion of coal and biomass/waste // Energies. – 2014. – V 8. P. 1090 – 1148.
2. Kalina J. Techno-economic assessment of small-scale integrated biomass gasification dual fuel combined cycle power plant // Energy. – 2017. – V 141. – P. 2499 – 250.
3. Белоногов М.В., Зайцев А.С., Егоров Р.И. Конверсия топливных композиций, состоящих из торфа и рапсового масла, в генераторный газ // Химия твердого топлива. – 2021. №6. С. 14-21.

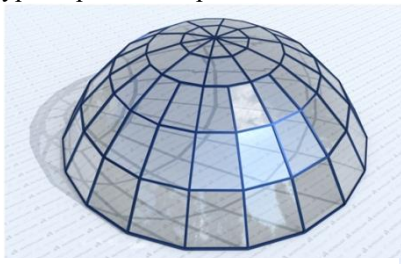
*В.А. Садертинова маг.;*

*рук. А.В. Банников к.т.н., зав. каф. ПТЭ (ИГЭУ, Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОБЪЕКТА СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ НА ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

В качестве объекта исследования в работе рассмотрено здание дошкольного образовательного учреждения (детского сада), расположенное в г. Кольчугино Владимирской области.

В соответствии с ФЗ №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» необходимо повышать энергетическую эффективность выбранного и подобных ему объектов. С этой целью в работе предложено поместить рассматриваемое здание под стеклянный купол. Подобное архитектурное решение приведет к изменению теплового режима объекта исследования, прежде всего за счет перемены параметров окружающей среды [1]. Без учета инсоляционной составляющей расчетная температура наружного воздуха (под куполом) увеличится на  $2,5^{\circ}\text{C}$ , а коэффициент конвекции примет свои естественные значения не превышающие  $7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K})$ . Кроме этого купол выступает в качестве «теплового замка», возникающего вследствие различной пропускной способности стекла для разных длин волн излучения, падающего на наружную поверхность стеклянного купола и отраженного от наружной поверхности здания детского сада. Наличие такого эффекта особенно актуально в холодный период года.



**Рисунок 1** – Стеклянный купол

В результате применения стеклянного купола ожидается сокращение потерь через наружные стены на  $1,415 \text{ кВт}$ , через светопрозрачные конструкции – на  $1,533 \text{ кВт}$ , через покрытие – на  $0,669 \text{ кВт}$ , через наружные двери – на  $0,353 \text{ кВт}$ , через пол – на  $1,199 \text{ кВт}$ , потеря на инфильтрацию – на  $1,495 \text{ кВт}$ .

### **Библиографический список**

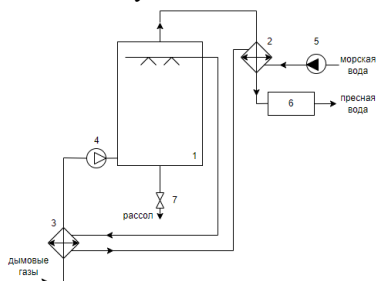
1. СП 131.13330.2020. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. Строительная климатология / Миррегион России. – М.: ЦПП, 2012. – 114 с.

*В.М. Лапинова, студ.;  
рук. М.В. Козлова, к.т.н., ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## О ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ НА ДЫМОВЫХ ГАЗАХ

В соответствии с ФЗ №261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» актуальным является снижение затрат топливно-энергетических ресурсов на осуществление различных технологических процессов, в части, это касается и процесса опреснения [1]. В этой связи, актуальным является исследование и разработка тепловых схем опреснительных установок, использующих в качестве источника тепловой энергии дымовые газы [2].

Авторами предложено техническое решение (рисунок 1) по использованию дымовых газов в цикле работы гигроскопических опреснительных установок с контактным испарителем. В этом случае совместно решается несколько задач: опреснение морской воды, очистка и охлаждение дымовых газов. В целом, утилизация теплоты дымовых газов для опреснения позволяет существенно снизить затраты на получение пресной воды.



**Рисунок 1** – Тепловая схема опреснительной установки на дымовых газах: 1 – контактный аппарат; 2, 3 – теплообменные аппараты; 4 – газодувка; 5 – насос; 6 – станция нейтрализации

В результате взаимодействия из горячих дымовых газов абсорбируется  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$ , а также улавливается сажа. Получившаяся пресная вода, после взаимодействия, имеет рН кислого характера, таким образом, она может использоваться в хозяйственно-бытовых и технических целях.

### Библиографический список

1. **Федеральный закон № 261** от 23 ноября 2009 г.: [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г.: по состоянию на 11 июня 2021 г.] // Российская газета. – 2009. – 27 ноября (№ 226)
2. **Коваленко В.Ф., Лукин Г.А.** Судовые водоопреснительные установки. Издательство «Судостроение», Ленинград, 1970. – 306 с.

*В.М. Лапинова, А.С. Румянцев, Н.С. Владимиров студ.;*  
*рук. М.В. Козлова, к.т.н., ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)*  
**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ  
ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

В процессе эксплуатации технологического оборудования неизбежно возникновение различного рода дефектов. Они могут быть вызваны механическими повреждениями, коррозионным воздействием окружающих сред, физической усталостью металла и другими видами воздействий [1]. Несмотря на развитие способов обработки материалов и все совершенствующиеся технологии эксплуатации оборудования, полностью исключить возможность возникновения таких дефектов не удастся, что влечет за собой останов оборудования, уменьшение срока его службы, а также денежные затраты.

В настоящее время для обнаружения и своевременного реагирования на появление дефектов, а также профилактики их появления, используются различные методы дефектоскопии, такие как рентгенография, эндоскопия, вибрационный мониторинг, использование инфра- и ультразвука, моделирование, для них характерен ряд недостатков [2]. В этой связи актуальным является исследование наиболее применяемых и перспективных способов выявления дефектов. Соответственно, целью исследования является проведение сравнительного анализа широко применяемых методов определения повреждений элементов тепломеханического оборудования, а также рассмотрение возможности применения программных комплексов математического моделирования для определения различного рода дефектов.

Результаты данного исследования способствуют упорядочиванию информации о преимуществах и недостатках использования математического моделирования для данных целей, возможных последствиях применения такого способа дефектоскопии. Таким образом, за счет использования данного способа определения дефектов возможно увеличение срока службы оборудования и получение экономической выгоды за счет меньшего времени простоя.

**Библиографический список**

1. **Ермолов И. Н., Останин Ю.А.** Методы и средства неразрушающего контроля: Учебное пособие для инженерно-технических специальностей. – М.: Высш. Школа, 1988. – 368 с.
2. **Алешин Н. П., Щербинский В. Г.** Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопии металлоизделий. – М.: Высш. Школа, 1991. – 271 с.

*Ю. Д. Обухова, аспирантка;*

*рук. Л.А. Опарина, д.т.н., доц. (ИвГПУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЗДАНИЙ**

Устойчивое развитие среды жизнедеятельности человека неразрывно связано с вопросами экологии, энерго- и ресурсосбережения. Несмотря на то, что потенциал снижения углеродного следа объективно ограничен, необходимо применять всевозможные способы снижения эмиссии [1]. Целями стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года являются достижение диверсифицированного устойчивого развития РФ, характеризующегося низким уровнем выбросов парниковых газов. Это долг развитых отраслей – участвовать в этой стратегии, в частности, стратегия декарбонизации строительной области. Для учета выбросов оксида углерода и снижение эмиссии важной научно-практической задачей является разработка методики расчёта углеродного следа, генерируемого отдельно по каждому из источников. В настоящее время создание подобных методик в РФ находятся в стадии разработки, существующие в мировой практике методики основаны на европейских методах и базах данных.

По мнению авторов, поскольку величина углеродного следа здания связана с количеством потребляемых энергоресурсов, с методической точки зрения расчёт углеродного следа здания, также, как и расчёт энергоёмкости, целесообразно производить по критерию жизненного цикла, так как затраты энергоресурсов (напрямую связанные с потреблением CO<sub>2</sub>), идут на производство стройматериалов, транспортировку, производство строительно-монтажных работ, эксплуатацию и ремонты, реставрацию, демонтаж и утилизацию отслуживших строительных конструкций, материалов [2]. С внедрением стандартов LEED и BREEAM в зарубежных странах, подкрепленных требованиями строительных норм и правил с более высокой производительностью, в настоящее время акцент в строительстве меняется. Сегодня компании пытаются охватить весь углеродный след и выбрать определенные строительные материалы и процессы в рамках целостного подхода по курсу низкоуглеродного развития.

Результаты данного исследования способствуют упорядочиванию информации о преимуществах и недостатках методов учета углеродного следа зданий. По мнению авторов, необходимо внедрение практики учета всего жизненного цикла здания, а также сдвиг акцентов при принятии решений по проекту на экологические последствия от реализации, в рамках учета углеродного следа здания [3].



**Библиографический список**

1. Белова С.Б., Старчикова И.Ю., Старчикова Е.С. Углеродный след: проблемы и пути решения. – Наука и бизнес: пути развития. 2020. – № 3 (105). – С. 19-21.

2. Котова Т.В., Взаимосвязь между строительным сектором и климатом – «Инновационный потенциал развития науки в современном мире: технологии, инновации, достижения». Сборник научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции. Уфа, 2021. С. 231-234.

3. Опарина Л.А. Теоретические основы процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий – Диссертация д-ра техн. наук – Ивановский. гос. политех. ун-т. Иваново, 2016. – 304 с.

*К.А. Барынин, студ.;*

*рук. С.А. Банникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

**НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ  
ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВОК  
В СРЕДНЕЙ ПОЛОСЕ РОССИИ**

На пути развития ветроэнергетики в Российской Федерации стоят некоторые ограничения. Использование энергии ветра имеет и очевидные достоинства, заключающиеся прежде всего в возможности решения с его помощью ряда важнейших энергетических и социальных проблем.

Проблемами развития, в частности, микрогенерации на базе возобновляемых источников энергии, является невысокая осведомленность потребителей о доступности технологий ветровой энергетики, связанной в том числе с появлением с 2021 года необходимой нормативной базы, содержащей указания о том, как подключать и потреблять электроэнергию его собственникам.

Кроме того, как известно, мощность ветроэнергоустановки напрямую зависит от скорости ветра. Потенциал ветра на территории России распределен неравномерно. В целом средняя годовая скорость ветра над территорией России изменяется от 2 м/с до 9 м/с. Существуют ряд районов, где среднегодовая скорость ветра превышает 6 м/с. В основном это районы побережий северных и дальневосточных морей.

Территория средней полосы России в соответствии с имеющейся нормативной документацией и метеоданными не имеет, с точки зрения скорости ветра, существенного потенциала. При этом жители некоторых районов, расположенных вблизи русел крупных рек, отмечают значительные скорости ветра. То есть при небольших среднегодовых значениях скоростей ветра на территории некоторых городов и областей существуют локальные ветры, которые могут быть использованы. В связи с этим, отсутствие метеорологических данных о скоростях ветра в долинах

рек можно выделить как одно из реальных препятствий к развитию ветроэнергетики в средней полосе России.

**Библиографический список**

1. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99/ Минрегион России. — 2021. — 124 с.

2. Коданева, С. И. Перспективы и правовые проблемы развития микрогенерации в России / С. И. Коданева // Мониторинг правоприменения. – 2021. – № 4(41). – С. 40-48

*В.В. Савченков, маг.;*

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

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТА  
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ**

В последнее время сложной задачей является повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения обособленно расположенных объектов здравоохранения. В связи с этим, предлагается развитие автономных источников энергоснабжения, позволяющих свести к минимуму потери транспортировки и обеспечить высокий КПД использования топлива. Одним из направлений их внедрения является комбинированное производство электроэнергии, теплоты и холода (тригенерация) на базе когенерационных установок (КГУ).

Использование утилизированной в КГУ тепловой энергии в зимний период на отопление и вентиляцию, а в летний – на производство холода в тепловых насосах (ТНУ) для кондиционирования дает возможность эксплуатировать установку круглый год с высоким коэффициентом использования теплоты топлива в летний период.

Целью работы является повышение эффективности энергоснабжения объекта здравоохранения Ивановской области путем перехода от существующей в настоящее время раздельной системы к комбинированной. В работе рассматриваются следующие варианты энергоснабжения объекта:

- генерация тепловой энергии от котельной с водогрейными котлами и электрической энергии от энергосистемы;
- генерация электрической и тепловой энергии газопоршневыми установками (ГПУ);
- использования тепловой энергии, произведенной когенерационной установкой (ГПУ) в летний период, для получения холода, на основе рассмотрения существующих типов ТНУ.

В работе выполнен сравнительный анализ предложенных вариантов энергоснабжения объекта.

**Библиографический список**

1. Схемы тригенерационных установок для централизованного энергоснабжения /А. В. Клименко [и др.] // Теплоэнергетика. 2016. № 6. С. 36–43.

2. **Кокорин, О. Я.** Энергетические и экономические преимущества объединения автономных источников теплоснабжения зданий с источниками холодоснабжения систем кондиционирования воздуха / О. Я. Кокорин // Холодильная техника. 2003. № 1. С. 6–9.

*Н.С. Владимиров, маг.;*

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

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЁТА СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ**

С увеличением выработки электрической и тепловой энергии, а также ростом цен на органическое топливо, важным вопросом является рациональное использования любой энергии. Одним из путей решения проблемы энергосбережения является глубокая утилизация теплоты уходящих газов в котлах. Данную теплоту можно использовать в котельных для нагрева различных потоков воздуха и воды или для выработки электроэнергии для повышения эффективности когенерационных установок с применением органического цикла Ренкина (ОЦР) [1].

Поскольку возможны различные схемы утилизации с применением технологии ОЦР, в которых теплота от уходящих газов может передаваться как непосредственно низкокипящему веществу, так и через теплоноситель вторичного контура, возникает необходимость автоматизации трудоёмких расчётов теплообмена при различных режимах работы котла и нагреваемых средах. На основе анализа существующих методов тепловых расчетов элементов теплоутилизационных систем [2 и др.] была разработана математическая модель, которая реализована в виде программы расчета в продукте Microsoft Excel. Базовыми для программы являются блок расчёта влагосодержаний, объемов и энтальпий продуктов сгорания и блок теплового расчёта теплоутилизаторов.

Для получения наиболее достоверных данных об основных параметрах процесса теплообмена при конденсации водяных паров из парогазовой смеси используется методика позонного расчёта. Для моделирования свойств нагреваемой среды используется интегрируемый в Excel модуль, основанный на базе данных “CoolProp”, в основе которого лежат уравнения энергии Гельмгольца [3].

### **Библиографический список**

1. **Карабарин Д.И., Михайленко С.А.** Повышение энергоэффективности производства энергии в районах децентрализованной энергетики / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. – Т. 328. – № 10. – 81–86 с.

2. **Ефимов А.В.** Система глубокой утилизации теплоты газов, уходящих из котельных агрегатов / А.В. Ефимов, А.Л. Гончаренко. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематический выпуск: Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. – Харьков: НТУ «ХПИ» –2013. –№ 13. – С.73 –80.

3. **База данных** свойств рабочих жидкостей CoolProp 6.5.0 Электронный ресурс Режим доступа: <http://www.coolprop.org>.

**СЕКЦИЯ 7**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

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

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

*К.С. Иванова, студ.; Н.Д. Пастухов, студ.  
рук. В.П. Александров, к.т.н.; О.В. Блинов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИМПУЛЬСНАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ**

Проблема нерационального расходования тепловой энергии, выражающаяся в локальных «перетопах», характерна для большинства систем отопления потребителей, подключенных к системе центрального теплоснабжения, как от ТЭЦ, так и от котельных. От этих негативных факторов можно избавиться путем установки в тепловые узлы специального оборудования (каким является и наша система) которое, в зависимости от температуры наружного воздуха, устанавливает температуру теплоносителя в обратном трубопроводе в соответствии с заданным температурным графиком. При этом сохраненная тепловая энергия может поступать в другие объекты. Таким образом, будет осуществляться более экономичное использование энергоресурсов теплосети, а также установка такой системы позволит обеспечить более комфортные условия для персонала предприятия или жителей в домах, более точно поддерживать заданные температурные характеристики в производственных цехах.

В настоящее время в РФ по-прежнему наиболее широко распространена система теплоснабжения зданий и сооружений на основе водоструйного нерегулируемого элеватора (НЭ), выполняющего функции смесителя и циркуляционного насоса.

Несмотря на исключительно высокую надёжность НЭ, что достигается вследствие полного отсутствия в конструкции движущихся частей, данная схема управления часто подвергается критике из-за практической невозможности теплорегулирования с его помощью. Однако подобное утверждение не совсем корректно, т.к. оно справедливо лишь при традиционном использовании давно устаревших методов автоматического управления тепловыми процессами, основанных на аналоговых регуляторах, «регулирующих» за счет изменения гидравлического сопротивления в тепловой сети. В итоге разбалансируется вся гидравлическая схема теплоснабжения вплоть до полной неработоспособности, когда НЭ не может создать необходимый циркуляционный напор. При этом в предлагаемой нами системе автоматического управления теплоснабжением объекта, исходные (проектные) гидравлические параметры системы теплоснабжения в процессе регулирования расхода теплоносителя не изменяются. Это стало возможным вследствие того, что в нашей системе изменяется не величина расхода

теплоносителя, а длительность его подачи с постоянной величиной за установленный период времени.

*В.А. Качалова, студ.; К.А. Бушуев, студ.  
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЗАЩИТЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ**

Наиболее эффективный подход к проблеме обеспечения сетевой безопасности – это комплексное сочетание мер защиты законодательного, административно-организационного и программно-технического характера [1].

При комплексном подходе меры защиты реализуются на различных уровнях: предприятие, сеть, рабочие станции.

Законодательные меры подразумевают следование стандартам, законам и нормативным актам (Приказ ФСТЭК от 14.03.2014 №31, стандарт МЭК 62443).

К административно-организационным мерам относятся физическая защита доступа, политики и процедуры безопасности, осведомленность и обучение персонала.

Программно-технические меры используют:

- технологии защиты данных:
  - шифрование данных;
  - авторизация и аутентификация пользователей;
  - разграничение прав доступа к ресурсам;
- технологии защиты межсетевых обмен:
  - сегментация сети на зоны с различным уровнем безопасности;
  - использование межсетевых экранов;
  - организация демилитаризованных зон;
- технологии обнаружения вторжений:
  - сканирование уязвимостей;
  - обнаружение атак;
  - протоколирование и аудит;
  - антивирусные комплексы.

С помощью компьютерных симуляторов были смоделированы примеры реализации технологий защиты данных и межсетевых обмен, которые планируется использовать для изучения сетевой безопасности в системах промышленной автоматизации.

### **Библиографический список**

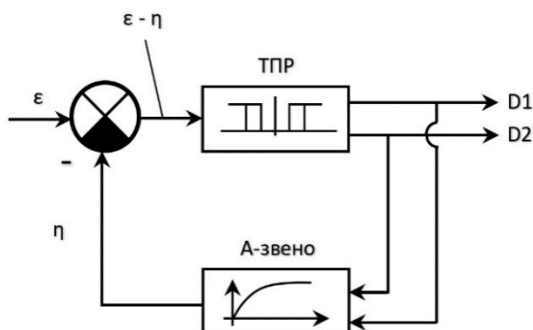
1. Шаньгин В.Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей: учеб. пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2011. – 416 с.

*А.С. Кувишинов, студ.; Н.В. Куликов, студ.  
рук. А.Е. Кочетков, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО МОДУЛЯТОРА В СРЕДЕ SMLLOGICS

Широтно-импульсный модулятор (ШИМ) предназначен для преобразования входного сигнала (например, сигнала рассогласования в системах автоматизации) в последовательность импульсов, скважность которых определяется как параметрами настройки самого ШИМ, так и величиной входного сигнала.

Модель ШИМ может быть представлена в виде трёхпозиционного регулятора с аperiodическим звеном в отрицательной обратной связи.



**Рисунок 1** – Структурная схема ШИМ

Программа, моделирующая ШИМ, была реализована на языке FBD в среде SMLogics (инструмент разработки прикладных программ для контроллеров Segnetics).

Разработанная программа предназначена для записи в контроллер Segnetics с целью изучения характеристик ШИМ и зависимости выходного сигнала от параметров его настройки: зоны нечувствительности, зоны возврата, постоянной времени и коэффициента пропорциональности.

### Библиографический список

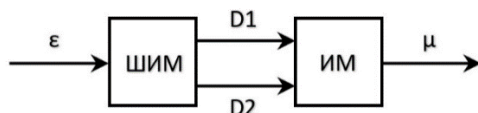
1. **Таланов В.Д.** Аппаратные и программные технические средства автоматизации. Учебное пособие. – Иваново, 2014.
2. **Таланов В.Д.** Система программирования контроллеров Segnetics. Лабораторный практикум / В.Д. Таланов, В.О. Веремьев, В.М. Пушков. – Иваново, 2015.

*А.С. Кувшинов, студ.; Н.В. Куликов, студ.  
рук. А.Е. Кочетков, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИМПУЛЬСНОГО ПИ-РЕГУЛЯТОРА В СРЕДЕ SMLOGICS

Импульсные регуляторы, используемые в системах автоматического регулирования параметров технологических процессов, предназначены для преобразования сигнала рассогласования в выходной импульсный сигнал, характеристики которого зависят от параметров настройки регулятора и величины входного сигнала. Импульсные ПИ-регуляторы используются совместно с исполнительными механизмами (ИМ) постоянной скорости.

Модель импульсного ПИ-регулятора может быть представлена в виде широтно-импульсного модулятора с подключенным к его выходу интегрирующим звеном, которое выполняет роль модели ИМ постоянной скорости.



**Рисунок 1** – Структурная схема импульсного ПИ-регулятора

$$\mu = \frac{100}{T_{\text{ИМ}}} \cdot \alpha_{\text{П}} \cdot \left( \varepsilon + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int \varepsilon dt \right)$$

где  $\mu$  – управляющее воздействие;  $\varepsilon$  – сигнал рассогласования;  $T_{\text{ИМ}}$  – время полного хода ИМ;  $T_{\text{И}}$  – постоянная времени регулятора;  $\alpha_{\text{П}}$  – коэффициент пропорциональности регулятора.

Программа, реализующая модель импульсного ПИ-регулятора, разработанная на языке FBD в среде SMLogics, предназначена для записи в контроллер Segnetics. Данная программа предназначена для изучения характеристик регулятора и зависимости его выходного сигнала от параметров его настройки.

### Библиографический список

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



*А.А. Кузнецов, студ.,рук. Е.К. Торопова, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ**

Применение студентами новых информационных технологий способствует формированию у них способности к самостоятельному мышлению, творческой работе по выполнению различных практико-ориентированных заданий.

Для изучения физических явлений и процессов применяют компьютерное моделирование, которое позволяет оперативно оценить решения упрощенных математических моделей и представить закономерности изучаемых явлений и процессов. Благодаря использованию специализированных программ повышаются темпы и качество проектирования, эффективно решаются сложные инженерные задачи. В настоящее время в решении научно-инженерных задач находят широкое применение системы компьютерной математики (или математические пакеты). Самыми популярными из них являются Matlab, MathCAD, Maple. Математические пакеты представляют собой интегрированные программные системы автоматизации математических расчетов.

Для получения практических навыков при изучении дисциплины «Гидрогазодинамика» предусмотрена курсовая работа, в которой студент должен выполнить гидравлический расчет системы трубопроводов: для заданных расходов воды необходимо выбрать диаметры трубопроводов, рассчитать гидравлические сопротивления труб и избыточные давления воды в узлах системы, минимально допустимую высоту водонапорной башни, производительность насосов и максимальную высоту размещения насосов над уровнем воды в водозаборнике.

Эта курсовая работа требует большого количества вычислений, которые могут занять несколько дней и, соответственно, очень велик риск ошибок. Для выполнения курсовой работы можно воспользоваться вычислительными программами. Большая часть формул были созданы в программе Maple для шести участков трубопровода. Погрешность округлений минимизирована. В итоге выполнение курсовой работы заняло не более трех часов.

Недостатком программы является неполная автоматизация, что обуславливается ручным вводом некоторых данных.

### **Библиографический список**

1. Кулагин Ю.М. Учебное пособие по гидравлическому расчету трубопроводов / Ю.М. Кулагин, Т.И. Капустина, В.М. Черкасский. – Иваново: ИЭИ, 1976. – 70 с.

*К.А. Лётин, студ.; С.А. Лебедева, студ.  
рук. Е.К. Торопова, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ**

В современных информационных технологиях и науке существует множество численных методов оптимизации. В предложенной работе рассмотрены некоторые из них, с целью выявления наиболее оптимального и эффективного.

Все представленные ниже методы относятся к методам линий, основная суть которых заключается в том, что на каждой итерации они выполняют поиск одномерного минимизатора в заданном направлении, которое они вычислили ранее. В данной статье рассматриваются такие методы оптимизации, как: метод наискорейшего спуска (9 и 14 итераций); метод BFGS (7 и 15 итераций) и метод нелинейных сопряженных градиентов (14 и 25 итераций).

Приведём ниже сравнительную характеристику методов оптимизации в виде табл. 1.

**Таблица 1** – Сравнительная характеристика методов оптимизации

	Сходимость	Большие задачи	Хранение матрицы	Матрица Гессе	Масштабирование
Наискорейший спуск	1	1	1	1	0
BFGS	0	0 или 1	0 или 1	1	1
Нелинейные градиенты	0	1	1	1	0

В данной таблице: 0 – недостаток в данной категории, 1 – преимущество в данной категории, 0 или 1 – в зависимости от модификации. Таким образом, оптимальными и эффективными являются метод наискорейшего спуска и метод BFGS в зависимости от его модификации за счет меньшего числа итераций и применения в решении больших задач без хранения матрицы в памяти.

### **Библиографический список**

1. **Гасников А. В.** Современные численные методы оптимизации. Учебное пособие. – 2-е изд., испр. – М.: МЦНМО, 2021. – 272 с.

*В.А. Федоров, студ., рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕТЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АСУ ТП

Угрозы сетевой безопасности АСУ ТП связаны с реализацией кибератак, неавторизованным доступом к сети, перехватом и модификацией данных, распространением вредоносного программного обеспечения.

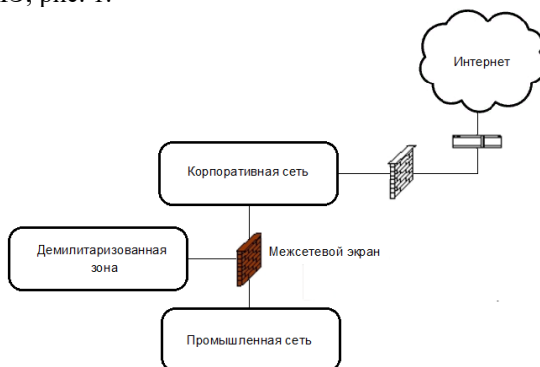
Согласно статистике одним из основных источников атак на системы промышленной автоматизации является Интернет.

Для создания защиты промышленной сети АСУ ТП могут быть использованы подходы, связанные с использованием межсетевых экранов (МЭ), разделением сети на зоны с различным уровнем безопасности и организацией демилитаризованных зон (ДМЗ).

Так как в корпоративной сети промышленного предприятия, как правило, доступ к Интернету разрешен, она является незащищенной.

Промышленная ДМЗ – это дополнительный сегмент сети, выполняющий роль буферной зоны между корпоративной (незащищенной) и промышленной (защищенной) сетью.

Разделение сегментов и контроль доступа между ними реализуется с помощью МЭ, рис. 1.



**Рисунок 1** – Использование МЭ для защиты промышленной сети

Основные правила, учитываемые при настройке МЭ:

- по умолчанию, любое взаимодействие между корпоративной и промышленной сетью запрещено; разрешения допустимы только в виде исключений;
- весь трафик, исходящий из корпоративной и промышленной сети, должен заканчиваться в ДМЗ.

*М. А. Шубин, аспирант; рук. В. В. Тютиков, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ МАГНИТНОГО ИНДУКТОРА**

Переменное магнитное поле, генерируемое индукторами магнитных стимуляторов, способно проникать через одежду, кожный и волосяной покровы и костные образования человека. Достигнув проводящих тканей, оно порождает переменный электрический ток. Ритмическое воздействие магнитным полем в течение определенного времени позволяет достичь устойчивых изменений активности коры головного мозга: повышение активности при высокочастотной стимуляции или снижение при низкочастотной, что делает возможным проведение широкого спектра диагностических и терапевтических процедур [1, 2].

Благодаря стимуляции коры головного мозга возможно эффективное лечение таких заболеваний, как: депрессия, посттравматическое стрессовое расстройство, обсессивно-компульсивное расстройство, последствия острого нарушения мозгового кровообращения, мигрень, болезнь Паркинсона, синдром Туретта, боковой амиотрофический и рассеянный склерозы, эпилепсия, болезнь Альцгеймера. А стимуляцию спинальных корешков, нервов или мышц в других частях тела человека используют при лечении болевого синдрома, спастичности и двигательных нарушений, мышечной дистрофии, невралгии лицевого и тройничного нервов, синдрома хронической тазовой боли.

Для получения устойчивых терапевтических эффектов магнитная стимуляция (МС) должна проводиться курсом из определенного количества сеансов стимуляции. Каждый сеанс состоит из нескольких сотен импульсов с определенной частотой. Типовая длительность одного стимула - 300 мкс. Например, для лечения посттравматического стрессового расстройства в зависимости от тяжести состояния необходим курс из 5-15 сессий по 900-1800 импульсов с частотой 1 Гц. А для лечения двигательных расстройств при болезни Паркинсона требуется курс из 5-10 сессий по 600-2000 импульсов с частотой 5 Гц.

В индукторах для МС чаще всего не используют сердечники. В качестве материала для катушки индуктивности используется медный провод типа «литцендрат». Это многожильный провод, каждая жила которого покрыта изолирующим лаком. Такой тип провода применяется для изготовления катушек индуктивности высокой добротности, что обусловлено более эффективным использованием суммарного сечения, составляющих этот провод жил, так как переменный ток в проводнике протекает преимущественно в поверхностном слое. Его при-

менение позволяет уменьшить массогабаритные параметры катушек, что важно для удобства позиционирования индуктора при МС.

Необходимые технические характеристики магнитного стимулятора: токи 7-8 кА, напряжение до – 1800 В, индуктивность койла порядка 11 мкГн, индукция от 1 до 1.5 Т. При использовании МС с такими параметрами выделяется большое количество тепла. Высокие температуры генерируются в основном в области излучателя магнитного поля – магнитного индуктора. Индуктор должен прилегать к телу пациента и из-за больших температур во время сеанса может вызывать ожоги. Допустимые температуры определяются стандартом «ГОСТ Р МЭК 60601. Общие требования безопасности к медицинским изделиям с учетом основных функциональных характеристик» [3]. Согласно этому документу, допустимые максимальные температуры для рабочих частей медицинских изделий, находящихся в контакте с кожей при длительности контакта более 1 минуты для пластмасс (из которых изготавливаются корпус индукторов) составляет 43°C.

Для поддержания необходимой температуры на поверхности индуктора необходимо использовать высокоэффективную систему охлаждения. Оптимальным решением видится система, состоящая из жидкостного охлаждения и элементов Пельтье [4, 5]. Внутри индуктора расположены трубки с циркулирующей жидкостью, которая отводит тепло от рабочей части в корпус магнитного стимулятора и в свою очередь охлаждаться на элементах Пельтье. В них используется явление термоэлектрического эффекта, который проявляется в материалах с термоэлектрическими свойствами, такими как полупроводники. Одна сторона элемента Пельтье поглощает тепло из окружающей среды и нагревается, а другая сторона отдает это тепло и охлаждается.

Таким образом, система охлаждения на элементах Пельтье позволит эффективно охлаждать циркулирующую жидкость, проходящую через систему охлаждения.

#### Библиографический список

1. Jean-Pascal Lefaucheur. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). — *Clinical Neurophysiology* — № 2 (131) — 2020 — с. 474-528.
2. Никитин С. С., Куренков А. Л. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей. М.: САШКО — 2003
3. Изделия медицинские электрические. Часть 1. Общие требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик (IEC 60601-1:2020, IDT) — Москва. Российский институт стандартизации — 2022
4. Резников Г. В. Расчет и конструирование систем охлаждения ЭВМ. - М.: Радио и связь — 1988
5. Казаков, А. Ф., Пикублик, М. М. Термоэлектрические материалы: свойства и применение — 2015

**СЕКЦИЯ 8**

**ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ**

Председатель

к.т.н., доцент **Виноградов А.Л.**

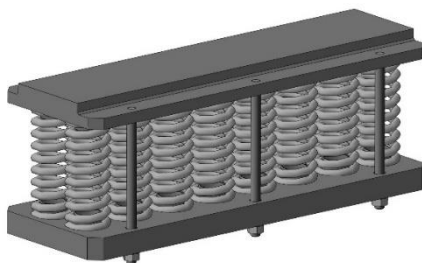
Секретарь

к.т.н., доцент **Григорьев Е.Ю.**

*А.А. Горбунов, асп.; рук. А.Ю. Рябчиков, д.т.н., проф.  
(УрФУ, УралЭнин, г. Екатеринбург)*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА НОВОГО СПОСОБА УСТАНОВКИ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

В статье проведен анализ различных способов установки на фундаменте и присоединения конденсаторов к выхлопным патрубкам паровых турбин, а также рассмотрены нагрузки на цилиндр низкого давления (ЦНД) в зависимости от способа присоединения конденсатора. Конденсатор паровой турбины самый габаритный и металлоемкий теплообменный аппарат, масса которого для мощных турбин может достигать 400 т. Анализ динамики нагружения ЦНД паровой турбины во время монтажа конденсатора и его эксплуатации позволяет выделить основные факторы воздействия на ЦНД. Проведенные расчеты позволили разработать способ опоры конденсатора на специальных пружинных блоках, представленных на рисунке 135. Вновь разработанный способ опоры был реализован в конденсаторе К-9500, входящего в состав паротурбинной установки ПТ-150, производства АО «Уральский турбинный завод», и получен патент на изобретение [0].



**Рисунок 1** – Блок пружинный специальный

### **Библиографический список**

**1. Патент № RU 2788028 C1** Российская Федерация, МПК F01D 25/00 (2022.08); F01K 9/00 (2022.08). Способ монтажа и эксплуатации конденсатора турбоагрегата: № 2021138626 : заявлено 23.12.2021 : опубликовано 16.01.2023 Бюл. № 2 / Горбунов А.А., Чубаров А.А., Шамшури И.В.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Уральский турбинный завод". – 10 с. : ил. 2.

*A.V. Svetushkov, 1<sup>st</sup> year Master; Scientific advisers: E.Y. Grigoriev, Ph.D, E.A. Naumova, Ph.D (ISPU, Ivanovo)*

## **THE NON-DEAERATOR THERMAL DESIGN IMPLEMENTATION**

The rejection of the deaerator increases the reliability of the power unit, since when it overflows, an emergency occurs with the possibility of water entering the seals or the flow part of the turbine. With BTS, a deaerator, booster pumps, a large number of fittings and pipelines are not required.

The economic effect of the implementation of BTS depends on the turbine design, the initial state of the equipment, as well as the structure of the implemented non-deaerator circuit. Its main components are:

- Improving the reliability of the power unit, since the presence of the deaerator determines the possibility of a large-scale accident during its decompression and the possibility of water from it entering the seals and the flow part of the turbine, as well as the overflow of the deaerator in the event of a valve failure on the water discharge line into the condenser;
- The simplification of the operation, since maintaining the water level in the deaerator often requires the intervention of personnel, and the level in the mixing HDPE-2 is maintained automatically and has three levels of the protection;
- Stable maintenance of a high-quality neutral-oxygen water-chemical regime, since after mixing HDPE-2, a constant oxygen content at the level of 10-15 micrograms/kg is provided;

Increased thermal efficiency due to the following factors:

- the replacement of at least one surface HDPE-2 with a mixing heater, which increases efficiency (by 0.2-0.6% depending on the amount of underheating in surface HDPE);
- the abandonment of autonomous booster pumps and the elimination of energy losses for throttling water in the control valve (by 0.25%);
- the elimination of heat losses of the heating steam condensate drained from the first two LDPE through the mixer to the inlet of the feed pumps and not to the deaerator (0.05 — 0.08%). The total savings from these and some other components are in the range from 1 to 1.5 % of specific fuel consumption.



*А.В. Светушков, студ.; рук. К.Н. Туманова, ассистент  
(ИГЭУ им. Ленина, г. Иваново)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ТУРБИНЫ К-300-240 ЗА СЧЕТ РЕАКТИВНОГО ОБЛОПАЧИВАНИЯ**

С целью повышения надёжности и КПД турбины рекомендуется замена ротора высокого давления с реактивным облопачиванием и комплектом направляющих лопаток. Модернизация ЦВД предусматривает следующее:

- Новый наружный корпус ЦВД, новый внутренний корпус ЦВД с реактивным облопачиванием и комплектом направляющих лопаток, новый РВД с реактивным облопачиванием, замена направляющего аппарата, новые обоймы правого потока с направляющими лопатками реактивного типа, новые модернизированные концевые и внутренние уплотнения ЦВД, установка сотовых надбандажных уплотнений;

Увеличение КПД ЦВД за счет применения реактивного облопачивания вызвано следующими факторами:

- увеличением количества ступеней, что приводит к повышению КПД цилиндра за счет увеличения коэффициента возврата тепла:

$$\eta_t = (1 + \alpha) \cdot \eta_t',$$

$$\alpha = \alpha_\infty \cdot (z - 1)/z,$$

где:

$\eta_t$  - КПД группы ступеней;

$\eta_t'$  - КПД одной ступени;

$\alpha_\infty$  - коэффициент возврата тепла для бесконечного числа ступеней;

$\alpha$  - коэффициент возврата тепла группы ступеней;

$z$  - число ступеней.

- снижением скорости пара в проточной части в связи с уменьшением перепада энтальпий на ступень и, соответственно, снижение потерь в соплах и рабочих лопатках;

- уменьшением диаметров проточной части и увеличением высоты лопаток (особенно первых ступеней), что снижает дополнительные потери в лопаточном аппарате..

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

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ПЭН**

Маслосистема смазки и маслоснабжения гидромурфты ПЭН обеспечивает масляный клин подшипников, позволяющий ротору ПЭН “всплывать” в масле, а также масло подается для функционирования гидромурфты, позволяющей регулировать частоту вращения ротора ПЭН. Система представляет собой контур рециркуляции, в которой масло поступает к подшипникам от маслобака с помощью насоса, приводимого от ПЭН посредством передаточного механизма (редуктора) [1].

Для упрощения моделирования систему принял замкнутой, то есть, независимой от окружающей среды. Модель реализована с помощью ПО Microsoft Visual Studio на языке программирования C++.

Основным законом, благодаря которому произведен процесс расчета, являются законы сохранения массы и энергии: главным критерием точности и правильности моделирования является баланс расходов, приходящих и уходящих в маслобак. Баланс рассчитан с точностью  $1e-5$ .

Использование компьютерного моделирования позволяет разработать модели любых систем турбинных, котельных агрегатов, что обеспечивает множество возможностей для наладки, эксплуатации, а также подготовки персонала в энергетике.

Разработанная математическая модель была применена в общей мат. модели энергоблока ПГУ-110 Прегольской ТЭС в составе тренажерного комплекса [2].

### **Библиографический список**

1. Инструкция по эксплуатации питательных насосов Прегольской ТЭС № ПТЭС-К-184-ИЭ, Прегольская ТЭС, г.Калининград, 2021 г.
2. Свидетельство программы для ЭВМ № 2022669451 Сетевой программный комплекс «Комплексный тренажера энергоблока ПГУ-110 МВт для оперативного персонала котлотурбинного цеха для Прегольской ТЭС» филиала «Калининградская ТЭЦ-2» АО «Интер РАО - Электрогенерация»

*Н.С. Бабанов, студ.; рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ПОЛОМОК РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБИНОЙ СТУПЕНИ**

Лопатки проточной части являются наиболее уязвимым элементом турбины. Одной из главных причин аварий рабочих лопаток является усталость материала, вследствие вибраций.

Под усталостью материала понимается процесс постепенного накопления повреждений вследствие изменяющихся во времени напряжений, что приводит к появлению усталостных трещин. Усталостная поломка происходит в том случае, если резерв прочности материала исчерпывается. То есть, основными факторами появления трещин являются накопление повреждений материала от действия переменных напряжений и сопротивление материала этим напряжениям.

Исходя из вышесказанного, для борьбы с усталостными поломками можно использовать два принципиально различных метода:

- 1) Выбор материала для рабочих лопаток такой прочности, которая обеспечит его неразрушение на весь период эксплуатации;
- 2) Обеспечить конструкцию турбины и режимы эксплуатации, снижающие вибрационные напряжения в рабочих лопатках.

Так как выбор материала рабочих лопаток обусловлен не только требованием высокой усталостной прочности, а еще и высокой статической прочностью, жаростойкостью, пластичностью и т.д. К тому же, данные требования могут быть взаимоисключающими: так, например, повышение статической прочности приводит к снижению пластичности; мелкозернистая структура материала позволяет увеличить статическую характеристику, но снижает сопротивление высокотемпературным воздействиям. Поэтому при разработке материала для лопаток приходится идти на компромисс.

А значит единственным способом борьбы с усталостью является снижение вибрационных напряжений в рабочих лопатках.

### **Библиографический список**

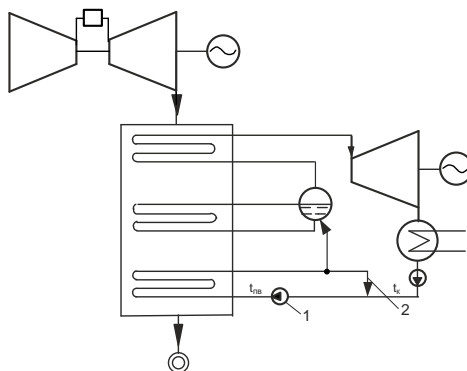
1. Матвеев А.С. Тепловые и атомные электрические станции: Учеб. пособие / Томск: Изд-во ТПУ, 2009. - 190с

*В.Э. Думов, студ.; рук. К.Н. Туманова (ассистент.)  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ОСОБЕННОСТИ СХЕМ ТЭЦ И АЭС, НЕ ИМЕЮЩИХ ДЕАЭРАТОРА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

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.

Одной из особенностей утилизационных ПГУ является возможность работы установки в бездеаэрационном режиме. Если не предусмотреть каких-либо специальных мер, то температура питательной воды будет равна температуре конденсата. Обычно столь низкая температура воды на входе в экономайзер нежелательна по причине конденсации водяных паров дымовых газов на первых витках экономайзера. Для того, чтобы поднять  $t_{пв}$  до приемлемого с этой точки зрения уровня, применяют рециркуляцию воды в экономайзере. Схема такой установки приведена на рис 1.



**Рисунок 1** – Бездеаэрационная схема ПГУ одного давления с рециркуляцией питательной воды в экономайзере котла-утилизатора: 1-насос рециркуляции; 2-линия рециркуляцией питательной воды в экономайзере КУ

Бездеаэрационные схемы применяются так же на АЭС.

Почти все виды турбин могут применяться в бездеаэрационных схемах. Т-180/210-130, Т-250/300-240, К-300-240 ЛМЗ, К-300-240 ХТЗ, К-250-240 – примеры часто применяющихся турбин, с которыми можно использовать бездеаэрационные схемы.

*Д.Д. Воронов, студ., рук. Е.Ю. Григорьев к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново, МЭИ, г. Москва)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫХЛОПНЫХ ДИФFUЗОРНЫХ ПАТРУБКОВ ТУРБОМАШИН**

Энергия потока, покидающего последние ступени турбин, для мощных энергетических установок достигает очень больших величин. Так, например, для ГТУ фирмы Mitschubisi мощностью  $N_3=334$  МВт энергия потока за последней ступенью турбины составляет 17 МВт при скорости газа  $c_f=230$  м/с.

Для паровой турбины К-800-240 ЛМЗ указанная энергия составляет около 28 МВт. Если в выхлопных патрубках в результате изэнтропийного торможения потока снизить его скорость в два раза, то энергия рабочих тел в приведенных примерах в выходном сечении патрубка может быть снижена в 4 раза и составит в первом случае 4,2 МВт, а во втором – 7 МВт и, соответственно, мощность ГТУ возрастет на 13 МВт, а мощность паровой турбины увеличится на 21 МВт.

Приведенные оценки свидетельствуют об исключительно высоких экономических перспективах использования в выхлопных патрубках турбин различного рода диффузорных систем, способных при минимальных потерях энергии преобразовывать кинетическую энергию потока в потенциальную.

Традиционно в практике турбостроения используют диффузорные каналы с умеренными углами  $7^\circ \div 10^\circ$ , при довольно скромных показателях аэродинамического совершенства, что сдерживает возможности по совершенствованию выхлопных отсеков.

Кардинально изменить сложившуюся ситуацию возможно перейдя на использование широкоугольных диффузоров (до  $15^\circ$ ), однако при течении в данных каналах резко возрастает вероятность отрыва потока с одновременным ухудшением аэродинамических и вибрационных характеристик этих каналов.

Использование известных методов стабилизации потока в отрывных диффузорах, полученные в лабораторных условиях, очень сложно реализовать на практике и по этой причине они практически не применяются.

Данная работа нацелена на поиск простых и эффективных методов геометрического воздействия на течение рабочей среды в широкоугольных диффузорах с последующим их применением в выхлопных патрубках паровых и газовых турбин, а также в стопорных и регулирующих клапанах паровых турбин.

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

## **ВИБРАЦИЯ ТУРБОАГРЕГАТА И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ**

Когда говорят о вибрации турбоагрегата, то обычно имеют в виду колебания системы, состоящей из собственно турбоагрегата и его фундамента, установленного на свайное основание или на грунт. Непосредственным источником колебаний является валопровод турбоагрегата, который, вращаясь на масляной пленке подшипников, передает через нее усилия на вкладыши подшипников и их корпуса. В свою очередь вибрирующие корпуса подшипников и связанные с ними корпуса цилиндров возбуждают вибрацию верхней фундаментной плиты, а та – вибрацию колонн и нижней фундаментной плиты.

Вибрация турбоагрегата должна измеряться и регистрироваться с помощью стационарной аппаратуры непрерывного контроля вибрации подшипниковых опор, которая должна соответствовать государственному стандарту. В частности, эта аппаратура должна включать в себя систему защиты с сигнализацией и последующей остановкой турбоагрегата в случае возникновения недопустимой вибрации или ее внезапного изменения.

Вибрация турбоагрегата может происходить во всех трех направлениях. Поэтому ее измеряют на всех подшипниковых опорах в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтально-поперечном и горизонтально-осевом по отношению к оси вала турбоагрегата.

Горизонтально-осевую и горизонтально-поперечную вибрацию измеряют на уровне оси вала турбоагрегата против середины дли опорного вкладыша с левой стороны, если смотреть со стороны переднего подшипника. Измерительные датчики прикрепляются к фланцу крышки подшипника. Вертикальную вибрацию измеряют на верхней части крышки подшипника над серединой длины его вкладыша.

При вибрации вал вращается в прогнутом состоянии и, если этот прогиб чрезмерен, возникают задевания вращающихся деталей о неподвижные. Даже при небольших задеваниях происходит износ уплотнений, увеличение радиальных зазоров и как следствие – снижение экономичности. Если же задевания значительны, то возникающая вибрация может потребовать аварийной остановки турбины, а в ее конструкции могут произойти остаточные изменения, например, постоянный изгиб вала.

При вибрации происходит ослабление связей отдельных деталей: ослабляется связь отдельных половин вкладышей и их обойм, крышек подшипников и нижних половин их корпусов, корпусов подшипников и фундаментной плиты. Если фундамент недостаточно гасит передающиеся на него вибрации, то вибрация нижней фундаментной плиты приводит к неравномерной осадке фундамента, перекосу верхней фундаментной плиты, взаимному вертикальному смещению опор и как следствие – к расцентровке валопровода и прогрессирующему нарастанию вибрации.

Опыт эксплуатации показывает, что примерно 20% времени вынужденных простоев турбоагрегатов связано с вибрационной наладкой.

#### **Библиографический список**

1. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины: М.: Энергоатомиздат, 1990. 640с.

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

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВТОРОГО КОНТУРА АЭС: ПАРОВАЯ ТУРБИНА К-1200-6,8/50**

Второй контур АЭС - не радиоактивный, состоит из паропроизводительной части парогенераторов, главных паропроводов, одного турбоагрегата, их вспомогательного оборудования и обслуживающих систем, оборудования деаэрации, подогрева и подачи питательной воды в парогенераторы.

Турбоустановка включает в себя паровую турбину и генератор. Паровая турбина К-1200-6,8/50 - энергетическая конденсационная быстроходная многоцилиндровая установка с промежуточной сепарацией пара и промежуточным перегревом пара предназначена для непосредственного привода генератора переменного тока. Эта турбина рассчитана для работы в моноблоке с реактором ВВЭР 1200.

Технические решения, обеспечивающие высокую конкурентоспособность турбоустановки К-1200-6,8/50:

- Подвод пара в ЦВД и ЦНД в нижнюю половину
- Корпус ЦВД из нержавеющей стали
- Направляющие лопатки с тангенциальным навалом
- Цельнокованные РВД и РНД
- Материал рабочих лопаток последней ступени ЦНД – ВТ-6

- Возможность снятия концевых уплотнений ЦНД без разборки цилиндров, уменьшение радиальных зазоров
- Высокоэкономичные паровпускные и паровыпускные патрубки ЦВД и ЦНД
- Высокоэкономичные подшипники
- Возможность подбалансировки роторов без вскрытия

#### Библиографический список

1. В.П. Поваров, О.Л. Безручко, И.Н. Гусев, Д.Е. Усачев. Паротурбинная установка К-1200-6,8/50.- РОСАТОМ. – Воронеж: Диамант, 2021.

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

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

В настоящее время развитие технологи турбостроения ограничивается экологическими нормами, так как повышение КПД означает увеличение общей степени сжатия ГТУ, что приводит к достижению максимально допустимой температуры в камере сгорания (1500 °С). Этот факт приводит к необходимости разработки новой дорогостоящей системы сжигания, которая не настолько эффективна, как могла бы быть. Использование данного технического решения удорожает обслуживание газовой турбины.

Разделение тепловой нагрузки на две ступени позволяет снизить максимальную температуру в камере сгорания по сравнению с однокамерной ГТУ при одинаковом расходе топлива. Это также позволяет увеличить термический КПД турбины и степень повышения давления без снижения температуры на выходе продуктов горения из турбины. Эта особенность позволяет использовать данную турбину совместно с котлом-утилизатором и паровой турбиной.

Данное техническое решение позволяет вести дальнейшие разработки в направлении повышения экономичности и снижения стоимости газотурбинных установок.

#### Библиографический список

1. Carlo Carcasci “Analysis of the GT26 single-shaft gas turbine performance and emissions”

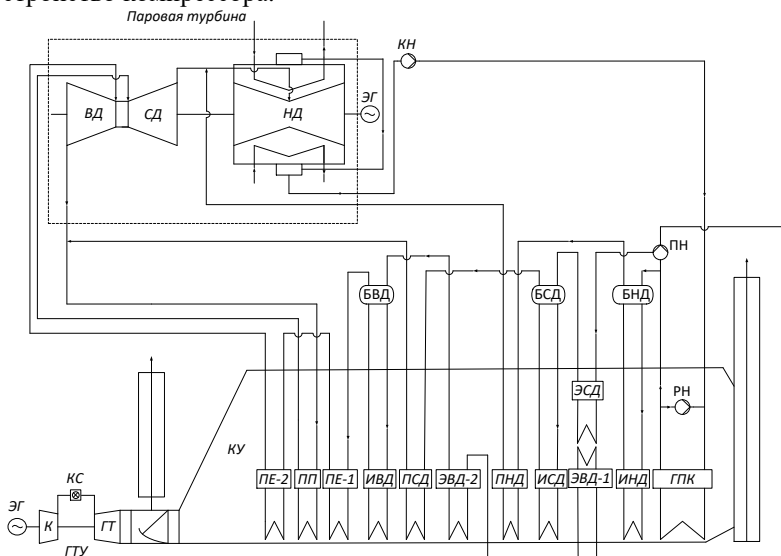


*Д.В. Дмитриев, студ.; рук. В.А. Буданов к.т.н., доц.  
(ИГЭУ), г. Иваново*

## ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАБОТУ УТИЛИЗАЦИОННОЙ ПГУ

Газотурбинные установки (ГТУ) по нормам ISO проектируются на условия атмосферного воздуха:  $p_{\text{атм}} = 101,3$  кПа и  $t_{\text{нв}} = +15$  °С. Однако температура наружного воздуха в течение годового цикла эксплуатации изменяется в широких пределах. Следовательно, эксплуатация газотурбинного двигателя (ГТД) осуществляется преимущественно в режимах ниже расчетных.

Было произведено численное исследование технико-экономических показателей трехконтурной ПГУ (рис. 1) в зависимости от параметров воздуха на входе в комплексное воздухоочистительное устройство компрессора.



**Рисунок 1** – Расчетная тепловая схема трехконтурной ПГУ

Исследования показали, что в климатических условиях РФ крайне актуальны разработка и внедрение мероприятий по управлению качеством воздуха на входе в турбокомпрессор ГТУ с целью обеспечения надежности, экономичности и маневренности ПГУ в регулировочном диапазоне режимов работы.

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

## **ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН ДЛЯ ПГУ**

В паротурбинной установке используется пар нескольких давлений, генерируемый в КУ ПГУ, мощность подключенного к паровой турбине электрогенератора составляет до 50% мощности ГТУ. Для паровых турбин ПГУ по сравнению с обычными паросиловыми установками характерны уменьшение теплопадения в проточной части в силу более низких параметров пара и увеличение расхода пара по ходу его движения в турбине. Работа таких паровых турбин зависит от изменения режима.

Использование дроссельного распределения в ЦВД паровых турбин является общепринятым решением для паровых турбин, работающих в составе ПГУ.

Регулирование мощных турбин осуществляется способом скользящего давления в переменных режимах. В ЦВД принята петлевая схема течения пара.

Эрозия лопаточного аппарата последней, наиболее нагруженной ступени паровых турбин в тепловой схеме ПГУ приводит к снижению ее КПД и вызывает поверхностное разрушение лопаток.

В паровых турбинах ПГУ с КУ отсутствует нерегулируемые регенеративные отборы пара.

При расчете паровой турбины сложно выбирать параметры перед стопорными клапанами турбины, от которых зависит конструкция, тепловая экономичность и мощность турбины на соответствующих режимах работы энергоблока, то есть ее привлекательность.

Для мощных паровых турбин, работающих в составе блоков ПГУ необходима установка внутреннего корпуса. Применение внутреннего корпуса, позволяет решить задачи обеспечения плотности и прочности корпуса, при этом сохранив маневренные характеристики ЦВД в целом.

Для обеспечения плотности конструкции внутренний корпус выполнен сборным. Основная особенность конструкции состоит в том, что предусмотрена затяжка горизонтального разъема внутреннего цилиндра и не только его наружной, но и внутренней части.

В паровых турбинах для ПГУ необходимо выполнить требования по ограничению температуры основного конденсата, поступающего после турбоустановки в ГПК.

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

## **ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ПОТЕРЬ В ЦНД ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН ПРИ РАБОТЕ В ЧИСТО ТЕПЛОФИКАЦИОННОМ РЕЖИМЕ**

Анализ режимов работы теплофикационных паровых турбин Т-100-130, Т-250-240, работающих в средней и северной полосе России показывает, что в чисто теплофикационном режиме они работают от 7 до 8 месяцев в году, а некоторые из них несут теплофикационную нагрузку постоянно.

При чисто теплофикационной нагрузке турбины пропуск пара в ЦНД сохраняется только с целью поддержания необходимого теплового режима этого цилиндра. С учетом достаточно высоких вентиляционных потерь энергии общие тепловые потери в неработающей части турбины оказываются весьма большими.

Соответственно, за счет снижения указанных потерь в этих турбинах может быть заметно повышена их полезная тепловая мощность без дополнительных затрат топлива.

На практике для достижения поставленных целей иногда прибегают к удалению последних ступеней ЦНД.

Более рациональным является замена существующего ротора ЦНД на новый ротор с внутренним торсионным валом, который включается для передачи мощности оставшихся цилиндров турбины на ротор генератора при полностью выключенном цилиндре низкого давления. Однако конструкция данного ротора сложна и при проведении ремонтов и технического обслуживания затруднительна его дефектоскопия.

Более инновационным подходом является пересмотр изначальной компоновки расположения турбины и генератора на стадии проектирования. В частности предлагается генератор включать в рассечку между ЦСД и ЦНД турбины. ЦНД в чисто теплофикационных режимах может легко отключаться, например, даже при работе турбоустановки, с помощью гидромуфты. Необходимо отметить, что данное решение не требует переделки в проточной части паровой турбины. Единственный недостаток данной схемы является необходимость при ремонте генератора его демонтировать с фундамента и переместить на ремонтную площадку с помощью мостового крана турбинного цеха.

*О.Р. Устинова, студ.; А.К. Гасков, ст.преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЁНОЧНОГО РЕЖИМА КИПЕНИЯ ВОДЫ**

Процессы плёночного кипения имеют широкое практическое применение металлургии и металлообработке [1].

В данной работе выполнено экспериментальное исследование плёночного режима кипения воды на лабораторном стенде кафедры ТОТ ИГЭУ. Лабораторная установка представляет собой цилиндрическую муфельную электропечь, расположенную над ёмкостью с предварительно нагретой до состояния насыщения дистиллированной водой. В печи производится нагрев медного цилиндра, заключенного в стакан из нержавеющей стали, до высокой температуры (до 600 °С). При помощи диммера возможно регулирование напряжения, подаваемого на электронагреватель печи и, соответственно, его мощности. Затем разогретый цилиндр опускается при помощи специального механизма в подогретую воду на глубину до 50 мм. Передача тепла от цилиндра к воде происходит за счёт конвективной теплоотдачи – сначала в режиме плёночного кипения, а затем пузырькового.

Была проведена серия опытов при различных значениях мощности электронагревателя печи. В ходе проведения опытов измерялись следующие параметры – температура воды, а также температура поверхности и центра медного цилиндра в зависимости от времени нахождения цилиндра в воде. Данные собирались автоматически при помощи макроса, реализованного в программе MS Excel.

На основе обработки данных эксперимента рассчитана величина коэффициента теплоотдачи при плёночном режиме кипения воды на поверхности медного цилиндра. Экспериментальные значения коэффициента теплоотдачи были сравнены с теоретическими [1,2].

По итогу выполнения работы получены новые данные о режимах работы лабораторной установки и определены оптимальные параметры её эксплуатации. Также внесён ряд конструктивных изменений в установку. Результаты исследования учтены при написании методического указания для выполнения лабораторной работы на экспериментальном стенде.

### **Библиографический список**

1. **Исаченко В.П.** Теплопередача. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб и доп. М., «Энергия», 1975.
2. **Кутателадзе С.С.** Основы теории теплообмена. Изд. 4-е, перераб. Новосибирск., «Наука», 1970.

# СОДЕРЖАНИЕ

## *Секция 1. Тепловые электрические станции*

<i>Краев А.В.</i> Влияние атомной энергетики на окружающую среду; <i>рук. Зинновьева Е.В.</i> .....	4
<i>Устинова О.Р.</i> Исследование ветропотенциала региона; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i> .....	5
<i>Ракитин В.В.</i> Водородная энергетика – производство и хранение; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i> .....	6
<i>Романин П.Д.</i> Реконструкция севастопольской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	7
<i>Седакова А.А.</i> Моделирование аварийных ситуаций в системе теплоснабжения омской ТЭЦ-3, <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	8
<i>Шоронова М.В.</i> Особенности размещения ветроустановок; <i>рук.</i> <i>Зиновьева Е.В.</i> .....	9
<i>Шоронова М.В.</i> Использование тепловых насосов на тэц; <i>рук.</i> <i>Зиновьева Е.В.</i> .....	10
<i>Солилов Д.А.</i> Увеличение тепловой нагрузки Ново-Иркутской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	11
<i>Соболев Н.В.</i> Выбор параметров ПГУ одного давления на примере ГТЭ-160; <i>рук. Зорин М.Ю.</i> .....	12
<i>Чернов А.А.</i> Системы технического водоснабжения АЭС; <i>рук. Кокулин И.А.</i> .....	13
<i>Макаров М.А.</i> Определение фактических тепловых нагрузок Калининградской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин Е.В.</i> .....	14
<i>Битней В.Д., Тимофеев А.А.</i> Оценка предельно допустимых значений реактивной мощности на примере турбогенератора ТВФ-110; <i>рук. Смотров Н.Н.</i> .....	15

<i>Жохов В.Л., Емелин М.А.</i> Сравнительный анализ двух систем подогрева воздуха парогазовых установок .....	16
<i>Демидов А.Л.</i> Особенности работы многоступенчатых пароструйных эжекторов; <i>рук. Рябчиков А.Ю.</i> .....	17
<i>Охлопков А.В., Кулаков А.А., Битней В.Д.</i> Сравнительная оценка вариантов технических решений конструкций ПСВ.....	18
<i>Саммур А.А., Комаров О.В.</i> Моделирование адсорбционного охладителя для повышения производительности тепловой установки.....	19
<i>Худякова А.Р.</i> Развитие солнечной фотовольтаики; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i> .....	20
<i>Капустина А.И.</i> Влияние повреждения трубной системы конденсаторов на экономичность турбоустановок энергоблоков; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i> .....	21
<i>Кутраков П.А.</i> Результаты капитального ремонта турбины К-300-240; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	22
<i>Кутраков П.А.</i> Реконструкция турбины К-300-240 Костромской ГРЭС; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	23
<i>Данилов О.М.</i> Техничко-экономическое обоснование организации централизованного теплоснабжения в г. Иркутск от Иркутской ТЭЦ-10; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	24
<i>Бурик В.А.</i> Снижение выбросов вредных веществ от источника теплоснабжения ПАО "Сатурн"; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	25
<i>Бугрова А.В.</i> Эффективность закрытия угольных и мазутных котельных в Калининграде; <i>рук. Угрюмова О.И.</i> .....	26
<i>Бурик В.А.</i> Снижение выбросов вредных веществ от источника теплоснабжения ао "ТГК-11"; <i>рук. Кокулин И.А.</i> .....	27

<i>Федотов Ю.В.</i> Модернизация системы парораспределения турбины К-300-23,5 ЛМЗ; <i>рук. Панков С.А.</i> .....	28
<i>Балакин Д.Ю.</i> Схема измерений для исследования многоступенчатых пароструйных эжекторов; <i>рук. Аронсон К.Э.</i> .....	29
<i>Щаницын Е.М.</i> Анализ надежности элементов ГТУ; <i>рук. Шувалов С.И.</i> .....	30
<i>Охлопков А.В., Никишов К.С., Титов А.П.</i> Определение расцентровок валопровода и деформаций фундамента ГТУ с использованием геодезических измерений и автоматизированной системы контроля на ТЭЦ-9 «МОСЭНЕРГО».....	31
<i>Трухина К.М.</i> Разработка дополнения к типовой энергетической характеристике турбоагрегата Т-100-130; <i>рук. Горшенин С.Д.</i> .....	32
<i>Будаков М.И.</i> Утилизация парниковых газов для увеличения зеленой массы растений; <i>рук. Михеев П.Г.</i> .....	33
<i>Гильмутдинов Е.Д.</i> Экспериментальная установка с прямоточным деаэратором; <i>рук. Горшенин С.Д.</i> .....	34
<i>Степанов А.Ю.</i> Возможность создания мини-ТЭЦ на базе котельной г. Новосибирска; <i>рук. Боруш О.В.</i> .....	35
<i>Ухлин А.А.</i> Оценка возможности совершенствования камеры регулируемого отбора пара теплофикационной турбины; <i>рук. Брезгин В.И.</i> .....	36

## *Секция 2. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и промышленных предприятий*

<i>Шемякина А.Д., Павлинова А.С.</i> Ограничение выбросов парниковых газов в Иваново; <i>рук. Еремина Н.А.</i> .....	38
<i>Лебедева Д.О.</i> Технологическая эффективность предочистки ВПУ ПТС Ириклинской ГРЭС; <i>рук. Карпычев Е.А.</i> .....	39

<i>Гильмутдинова Р.И.</i> Удаление кремниевых отложений на ТЭС; <i>рук. Гильфанов Б.А.</i> .....	40
<i>Гусева Ю.А.</i> Определение ионов никеля методом бумажной хроматографии; <i>рук. Хрипкова Л.Н.</i> .....	41
<i>Ломакин А.И.</i> Установка автоматизированной системы дозирования NaOH в циркуляционную воду; <i>рук. Ларин Б.М.</i> .....	42
<i>Дублева А.Е.</i> Разработка регламента проведения химической промывки установок электродеонизации; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	43
<i>Шемякина А.Д.</i> Реагентное удаление дурнопахнущих веществ на сооружениях очистки сточных вод; <i>рук. Ларин Б.М.</i> .....	44
<i>Валькова Ю.Н.</i> Анализ технологии водоподготовки на Смоленской АЭС; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	45
<i>Воронина Е.В.</i> Путеводитель по информационным базам для эколога; <i>рук. Еремина Н.А.</i> .....	46
<i>Кубасова А.М.</i> Виды химических очисток теплоэнергетического оборудования; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	47
<i>Зайцев М.А.</i> Применение комплексонов при химических очистках; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	48
<i>Гусева Ю.А., Давранова А.Ш.</i> Анализ природных источников поглощения и накопления углекислого газа; <i>рук. Еремина Н.А.</i> .....	49
<i>Болатбеков Е.К., Тоқтар Ж.Ә., Оразгулов Д.К.</i> Применение многофакторного эксперимента при исследовании эффективности сжигания угля; <i>рук. Ермоленко М.В.</i> .....	50
<i>Мартынова М.Е.</i> Анализ схемы подготовки исходной воды для обратного осмоса на основе осветлителей и ультрафильтрации; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	51
<i>Комлева А.А.</i> Входной контроль ионитов на АЭС; <i>рук. Ларин Б.М.</i> .....	52



<i>Колобова Т.С.</i> О перспективах строительства мусороперерабатывающих заводов в России; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	53
<i>Женихова А.Р.</i> Подбор сорбентов для доочистки нефтезагрязненных стоков ТЭС; <i>рук. Еремина Н.А.</i> .....	54
<i>Позднякова А.П.</i> Способы и методы проведения рекультивации полигонов ТБО; <i>рук. Зайева Е.В.</i> .....	55
<i>Павлинова А.С.</i> Модернизация водоподготовительных установок ТЭС; <i>рук. Ларин Б.М.</i> .....	56
<i>Логина А.Ю.</i> Расчётное исследование ресурсосберегающих схем водоподготовки в программе «Проект ВПУ»; <i>рук. Бушув Е.Н.</i> .....	57
<i>Тагунова Ю.В., Сараева Э.В.</i> Пеллетное биотопливо; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	58
<i>Князева Т.С.</i> Ресурсосбережение при водоподготовке на ТЭС и АЭС; <i>рук. Бушув Е.Н.</i> .....	60

### *Секция 3. Химия в энергетике*

<i>Камерцель А.С.</i> Перспективы развития водородной энергетики в России; <i>рук. Ярунина Н.Н.</i> .....	63
<i>Коровина Е.А., Бобкова А.Р.</i> Гуминовые вещества в теплоэнергетических водах; <i>рук. Хрипкова Л.Н.</i> .....	64
<i>Бабаев Т.И.</i> Сточные воды теплоэнергетических объектов, методы их очистки и обеззараживания; <i>рук. Ионов А.В.</i> .....	65
<i>Гайдабрус М.А.</i> Каталитическое снижение смолопродуктов в составе пиролизного газа из скорлупы кедровых орехов; <i>рук. Табакаев Р.Б.</i> ..	66

- Гуряков Д.В.* Современные перспективные методы повышения экологичности использования топлива для тепловых электрических станций; *рук. Иванова Н.Г.* ..... 67
- Левичев А.С.* Роль химии в решении энергетических проблем; *рук. Иванова Н.Г.*..... 68
- Петров Д.* Определение интегральной теплоты растворения соли; *рук. Хрипкова Л.Н.*..... 69
- Маренков Е.С.* Получение щелочных металлов и их применение в энергетике; *рук. Ионов А.В.*..... 70
- Михайловский А.К.* Экологические преимущества ядерной энергии в сравнении с другими традиционными источниками энергии; *рук. Иванова Н.Г.*..... 71
- Надежин Д.А.* Биотопливо как альтернативный источник энергии; *рук. Ионов А.В.*..... 72
- Пилипчук Е.В.* Радиохимическая переработка облучённого ядерного топлива; *рук. Иванова Н.Г.* ..... 73
- Резанов Я.А.* Цинкование труб – один из методов борьбы с коррозией; *рук. Ярунина Н.Н.* ..... 74
- Сайфуллин Д.И.* Применение в энергетических установках алюмоводородных технологий; *рук. Гибадуллина Х.В.* ..... 75

#### *Секция 4. Теоретические основы теплотехники*

- Абышкин М.О., Парфенов Г.И.* Исследование теплообменных процессов, происходящих в оконном блоке с теплоотражающими экранами; *рук. Ракутина Д.В., Смирнов Н.Н.* ..... 77
- Балдов Е.А.* Разработка программы для расчета и анализа циклов ГТУ в Excel; *рук. Ракутина Д.В.*..... 78
- Вихрева А.А.* Температура и температурные шкалы; *рук. Чухин И.М.* 79

<i>Воронина Е.В.</i> Жизнь гения теплотехники и трагедия творца; <i>рук. Бухмиров В.В.</i> .....	80
<i>Елохина В.А.</i> Анализ влияния температурных напоров в гпп на тепловую экономичность пиковой АЭС; <i>рук. Чухин И.М.</i> .....	81
<i>Золн Д.А.</i> Расчет температурных полей в телах классической формы при нестационарной теплопроводности; <i>рук. Созинова Т.Е.</i> .....	82
<i>Карташов И.А., Короткова А.Е.</i> Применение тепловой изоляции для цилиндрических конструкций; <i>рук. Созинова Т.Е.</i> .....	83
<i>Кашина А.Д., Черняева И.И.</i> Оптимальное сочетание теплоносителя и материала оболочек твэлов в реакторах на быстрых нейтронах; <i>рук. Созинова Т.Е.</i> .....	84
<i>Красоткин С.А.</i> Современные системы охлаждения радиоэлектронной аппаратуры; <i>рук. Корочкина Е.Е., Блинов О.В.</i> .....	85
<i>Лётин К.А.</i> Определение оптимального расстояния между процессорами РЭА для минимизации их теплового влияния друг на друга; <i>рук. Корочкина Е.Е., Блинов О.В.</i> .....	86
<i>Медведева А.В.</i> Исследование влияния условий тепловой комфортности на человека в жилом помещении; <i>рук. Ракутина Д.В.</i> ..	87
<i>Михальцов Д.А., Гаськов А.К.</i> Вычислительный комплекс для расчёта процесса стационарной теплопередачи через стенки классической формы .....	88
<i>Павлинова А.С.</i> Исследование нестационарной теплопроводности в условиях численного эксперимента; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	89
<i>Потапов И.А.</i> Применение термодинамического цикла Аллама в теплоэнергетике; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	90
<i>Пойгин Я.А.</i> Сравнение цикла Ренкина с циклом Калины; <i>рук. Ракутина Д.В., Пекунова А.В.</i> .....	91

- Светушков И.И.* Определение воздухопроницаемости ограждающих конструкций общежития ИГЭУ; *рук. Бухмиров В.В., Родионова М.В.* 92
- Светушков И.И.* Расчет теплового пограничного слоя около корпуса турбины в ПВК Ansys; *рук. Бухмиров В.В.* ..... 93
- Стрелкин А.А.* Применение метода наименьших квадратов для расчета теплоотдачи при кипении; *рук. Ракутина Д.В.* ..... 94
- Трухина К.М.* Научные труды академика Самсона Семеновича Кутателадзе – достояние человечества! *Рук. Бухмиров В.В.* ..... 95
- Устинова О.Р., Гаськов А.К.* Экспериментальное исследование пузырькового режима кипения воды ..... 96
- Цветков Д.Р., Шведов К.И.* Экспериментальное определение интегральной степени черноты твёрдых поверхностей; *рук. Созинова Т.Е.* ..... 97
- Шемякина А.Д.* Энергетический и эксергетический анализ парового котла марки К-50-40; *рук. Бушуев Е.Н.* ..... 98

### *Секция 5. Промышленная теплоэнергетика*

- Маркина М.В., Амосов Н.Т.* Разработка цифрового двойника Апатитской ТЭЦ ..... 101
- Василенко Е.Н., Охапкин Д.С.* Использование аппаратов со встречными закрученными потоками для сушки отходов деревообработки; *рук. Коновалов А.В.* ..... 102
- Румянцев А.С., Молодкин Д.Е.* Выбор устройства для сушки побочного продукта пивоваренного производства; *рук. Коновалов А.В.* ..... 103
- Хомяков Д.В.* Разработка технических решений по увеличению летней генерации ТЭЦ; *рук. Опарина Л.А.* ..... 104
- Бубнов И.Д., Куданов В.М.* Оценка качества работы систем отопления зданий; *рук. Сенников В.В.* ..... 105

- Еремеев А.С.* Повышение энергоэффективности жилых зданий посредством применения индивидуальных вентиляционных установок; *рук. Коновалов А.В.* ..... 106
- Хайдов М.А., Введенский И.В.* Разработка программно-расчётного комплекса (ПРК) экспресс-аудита системы отопления (СО) здания; *рук. Сенников В.В.* ..... 107
- Коньшева А.В.* Тепловые насосы в мероприятиях энергосбережения; *рук. Гильфанов Б.А.* ..... 108
- Кувшинов П.А.* Промышленные сточные воды; *рук. Коновалов А.В.* . 109
- Франтов Н.А.* Проектирование конвективной сушильной камеры малого объема; *рук. Коновалов А.В.* ..... 110
- Федоренко Р.М., Антонов Д.В.* Характеристики вторичных фрагментов при микро-взрывной капле на основе талового масла; *рук. Стрижак П.А.* ..... 111

### Секция 6. Энергоресурсосбережение

- Горохова Н.И.* Анализ энергетической эффективности когенерационной установки с внутрицикловой газификацией угля; *рук. Ярунин С.Н.* ..... 113
- Парфенов Г.И., Абышкин М.О.* Влияние температуры и коэффициента теплоотдачи на поверхности окна на выбор значения минимальной температуры воздуха в помещении; *рук. Захаров В.М., Смирнов Н.Н.* ..... 114
- Золин Д.А.* Исследование условий применения «канадского колодца» для вентиляции жилого здания; *рук. Банников А.В.* ..... 115
- Белоногов М.В.* Свойства смесевых топлив, содержащие растительные масла; *рук. Егоров Р.И.* ..... 116

- Садертинова В.А.* Исследование влияния конструктивных особенностей объекта социальной сферы на его энергетическую эффективность; *рук. Банников А.В.* ..... 117
- Лапинова В.М.* О гигроскопических опреснительных установках, функционирующих на дымовых газах; *рук. Козлова М.В.* ..... 118
- Лапинова В.М., Румянцев А.С., Владимиров Н.С.* Анализ методов определения дефектов элементов тепломеханического оборудования; *рук. Козлова М.В.* ..... 119
- Обухова Ю.Д.* Анализ методов определения углеродного следа жизненного цикла зданий; *рук. Опарина Л.А.* ..... 120
- Барынин К.А.* Некоторые проблемы применения ветроэнергостановок в средней полосе России; *рук. Банникова С.А.* ..... 121
- Савченков В.В.* Повышение эффективности энергоснабжения объекта здравоохранения; *рук. Васильев С.В.* ..... 122
- Владимиров Н.С.* Разработка программного комплекса по автоматизации расчёта системы утилизации теплоты уходящих газов; *рук. Васильев С.В.* ..... 123

### *Секция 7. Автоматизация технологических процессов*

- Иванова К.С., Пастухов Н.Д.* Импульсная автоматическая система управления теплотреблением; *рук. Александров В.П., Блинов О.В.* 125
- Качалова В.А., Буцуев К.А.* Комплексный подход к защите промышленных сетей; *рук. Ставров С.Г.* ..... 126
- Кувшинов А.С., Куликов Н.В.* Разработка модели широтно-импульсного модулятора в среде Smlogics; *рук. Кочетков А.Е.* ..... 127
- Кувшинов А.С., Куликов Н.В.* Разработка модели импульсного ПИ-регулятора в среде Smlogics; *рук. Кочетков А.Е.* ..... 128

*Кузнецов А.А.* Применение систем компьютерной математики;  
*рук. Торопова Е.К.*..... 129

*Летин К.А., Лебедева С.А.* Сравнительная характеристика численных  
методов оптимизации; *рук. Торопова Е.К.* ..... 130

*Федоров В.А.* Особенности обеспечения сетевой безопасности АСУ  
ТП; *рук. Ставров С.Г.* ..... 131

*Шубин М.А.* Анализ требований к системе охлаждения магнитного  
индуктора; *рук. Тотиков В.В.* ..... 132

### *Секция 8. Паровые и газовые турбины*

*Горбунов А.А.* Исследования и разработка нового способа установки  
конденсаторов паровых турбин; *рук. Рябчиков А.Ю.*..... 135

*Svetushkov A.V.* The non-deaerator thermal design implementation;  
*s.a. Grigoriev E.Y., Naumova E.A.* ..... 136

*Светушков А.В.* Модернизация турбины К-300-240 за счет реактивного  
облапачивания; *рук. Туманова К.Н.* ..... 137

*Бабанов Н.С.* Компьютерное моделирование системы маслоснабжения  
ПЭН; *рук. Виноградов А.Л.* ..... 138

*Бабанов Н.С.* Предупреждение усталостных поломок рабочих лопаток  
турбинной ступени; *рук. Киселев А.И.* ..... 139

*Думов В.Э.* Особенности схем ТЭЦ и АЭС, не имеющих деаэрата  
питательной воды; *рук. Туманова К.Н.* ..... 140

*Воронов Д.Д.* Повышение эффективности выхлопных диффузорных  
патрубков турбомашин; *рук. Григорьев Е.Ю.* ..... 141

*Керенков А.В.* Вибрация турбоагрегата и ее последствия;  
*рук. Киселев А.И.* ..... 142

- Белянинова Д.А.* Совершенствование оборудования системы второго контура АЭС: паровая турбина К-1200-6,8/50; *рук. Буданов В.А.*..... 143
- Кочурин А.Н.* Перспективы развития газотурбинных установок; *рук. Буданов В.А.* ..... 144
- Дмитриев Д.В.* Влияния климатических условий на работу утилизационной ПГУ; *рук. Буданов В.А.* ..... 145
- Липатов В.Е.* Отличительные особенности паровых турбин для ПГУ; *рук. Виноградов А.Л.* ..... 146
- Шленкин А.Ю.* Пути снижения вентиляционных потерь в ЦНД теплофикационных турбин при работе в чисто теплофикационном режиме; *рук. Григорьев Е.Ю.*, ..... 147
- Устинова О.Р.* Экспериментальное исследование плёночного режима кипения воды; *рук. Гаськов А.К.*, .....148



**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

**ВОСЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙКАЯ  
(ДЕСЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ЭНЕРГИЯ-2023»**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ  
ТОМ 1**

*Печатается в авторской редакции*

Подписано в печать 05.05.2023. 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.