

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

---

# **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

## **«ЭНЕРГИЯ-2021»**

ШЕСТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
(ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

**г. Иваново, 6-8 апреля 2021 года**

### **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТОМ 1**

ИВАНОВО

ИГЭУ

2021

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА** // Шестнадцатая всероссийская (восьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2021»: материалы конференции. В 6 т. Т. 1. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2021. – 174 с.

ISBN 978-5-00062-478-4

ISBN 978-5-00062-475-3 (Т.1)

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

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

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

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

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

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

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

**СЕКЦИЯ 1**

**ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

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

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



*Д.А. Базин, студ.; рук. Б.А.Гиниятулин, к.т.н, доц.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ ТЭС**

Повышение эффективности охлаждающей способности башенной градирни – это комплексный подход, требующий множество мер, таких как полная или частичная реконструкция градирни и её узлов, использование многоконтурной эжекционной градирни.

Основные методы повышения эффективности работы градирни — это реконструкция ее элементов; установка дополнительного оборудования, способы подачи воды.

Для повышения дальнейшей производительности работы градирни важно сосредоточиться на таких задачах, как:

- Использование высоко эффективных полимерных блоков оросителей, таких как: ороситель «косой дождь сетчатый», ороситель «кипящий слой», каплеотбойник. Они обеспечивают дополнительное распределение воздушных и водяных потоков [1].

- 1) равномерное орошение воды;
- 2) эффективность вентиляции воздуха;
- 3) решения задач обледенения и регулирования температуры;
- 4) прорыв потоков холодного воздуха и борьба с ними;

Из всего выше сказанного, для существующих градирен можно предложить замену оросителей из асбоцементных листов на более эффективные полимерные оросители.

Так же за счет модернизации водораспределительных систем и обеспечения равномерного орошения воды и эффективности вентиляции воздуха, можно добиться увеличения перепада температур, и как следствие, увеличения тепловой мощности.

Не стоит забывать и о модернизации, либо полной реконструкции градирни там, где это экономически целесообразно и выгодно.

Увеличение площади орошения, тем самым увеличение охлаждающей способности башенной градирни.

### **Библиографический список**

1. **Артемий Н.Б.** Комбинированная эжекционно-башенная градирня, патент.

*О.С. Баймяшкина, студ.; рук. Р.Е.Безруков, к.т.н., доц.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ ВОДЫ НА РАЙОННЫХ КОТЕЛЬНЫХ ДЛЯ НУЖД ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Термическая деаэрация в районной котельной – это неотъемлемый элемент в предварительной водоподготовке подпиточной воды. Ее выполняют для снижения коррозии трубопроводов тепловых сетях за счёт удаления агрессивных газов из теплоносителя. Известно, что в централизованном теплоснабжении РФ многие трубопроводы ТС за счёт коррозии изнашиваются, требуя капитального ремонта или замены. По статистике Минэнерго РФ 68% теплосетей имеют 100% физический износ. Это говорит о недостаточной водоподготовке, а именно о недостаточной термической деаэрации теплоносителя.

Данный процесс выполняют в особых установках-деаэраторах. Чаще всего данное оборудование в котельных является морально устаревшим, созданное примерно в середине прошлого века. Главным направлением для повышения термической деаэрации, на мой взгляд, является модернизации установок деаэрации.

Не так давно был реализован авторский проект Зимина Б.А. по повышению экономической эффективности процессов водоподготовки путем качественной деаэрации теплоносителя в широком диапазоне нагрузок. Была демонтирована старая деаэрационная колонка, а на ее место поставлен центробежно-капельный деаэратор, за счет чего получена эффективная деаэрация с минимальными затратами.

Таким образом, экономический эффект при вакуумной деаэрации с использованием центробежно-капельного деаэратора достигается за счет более низкой температуры кипения воды от 65 до 80 градусов в зависимости от глубины вакуума. Это позволяет добиться глубокого вакуума и подавать на деаэратор воду температурой 65–70 градусов, а это существенная экономия при стабильной работе деаэратора в широком диапазоне нагрузок. При этом повышается срока службы тепловых сетей не только новых трубопроводов, но и тех сетей, которые свой ресурс практически исчерпали [1].

### **Библиографический список**

1. Патент РФ на полезную модель №2013134931, БИ №3, 2015. Деаэратор капельно-вихревой (ДКВ) / Зимин Б. А.

*А.А. Бектемисов, докторант; Мануленко А., студ.,  
рук. М.В. Ермоленко, к.т.н.  
(НАО «Университет имени Шакарима города Семей»,  
г. Семей, Казахстан)*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА НА КОЭФФИЦИЕНТ ИЗЫТКА ВОЗДУХА В ВИХРЕВОЙ ЗОНЕ ТОПКИ**

Целью исследования являлось установление зависимости коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки котла Е-90-3,9/440 при работе на непроектном угле разреза Каражыра марки Д.

Для данного угля для рабочего состава содержание углерода составляет 47,30 %, золы – 21,44%, влаги – 14,00 %. Низшая теплота сгорания равна 18855 кДж/кг.

Данный уголь используется уже на протяжении многих лет, но тем не менее, нет полных исследований по обеспечению оптимальных условий для его сжигания.

В данных исследованиях коэффициент избытка воздуха определяли по кислородной формуле [1]:

$$\alpha_{т.т.} = \frac{20,93}{20,96 - O_2}. \quad (1)$$

Измерения проводились при тепловых нагрузках: 50 т/ч; 75 т/ч; 90 т/ч.

Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных показал, что коэффициент избытка воздуха в вихревой зоне топки возрастает пропорционально значению теплопроизводительности. Проведение аппроксимации позволило получить область для оптимальных значений коэффициента избытка воздуха вихревой зоны топки в диапазоне теплопроизводительности от 176 ГДж/ч до 255 ГДж/ч.

В результате математической обработки было получено аналитическое описание зависимости коэффициента избытка воздуха в вихревой зоне топки  $\alpha_{т.т.}$  от теплопроизводительности:

$$\alpha_{т.т.} = 0,0017Q_K + 0,607. \quad (2)$$

### **Библиографический список**

1.Трембовля В.И., Фингер Е.Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок, 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 416 с.

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

## **О ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ КИСЛОРОДА В ОСНОВНОМ КОНДЕНСАТЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

Вопрос обеспечения и поддержания регламентированного водно-химического режима остается актуальной задачей. На территории Российской Федерации показатели качества основного конденсата паровых турбин регламентированы правилами технической эксплуатации. Для паровых турбин, содержание растворенного кислорода после конденсатных насосов не должно превышать 20 мкг/дм<sup>3</sup>. Однако, как показывает практика, во время эксплуатации не всегда удается поддерживать установленный нормами уровень кислорода.

Как показано в работе [1], одним из главных условий, определяющих качество основного конденсата, является паровая нагрузка охлаждающей поверхности конденсатора. Снижение расхода пара в конденсатор ухудшает условия деаэрации и приводит к росту концентрации растворенного кислорода. Данная картина характерна для пусковых режимов, режимов глубокой разгрузки, а также для теплофикационных турбин, работающих с высокой тепловой нагрузкой при минимальном пропуске пара в конденсатор.

В работе [2] отмечается негативное влияние температуры охлаждающей воды на деаэрирующую способность конденсатора, что, однако, противоречит выводам, сделанным в [1]. В ходе исследования, автором было установлено, что для конденсатора 200-КЦС-2, концентрация растворенного кислорода в основном конденсате увеличивалась с понижением температуры охлаждающей воды. Резкий рост наблюдался при температуре охлаждающей воды менее 11°C [3].

### **Библиографический список**

1. **Кириш, А. К.** Деаэрация конденсата в конденсаторах паровых турбин. М.: Бюро технической информации ОРГРЭС, 1960. 28 с.
2. **Шемпелев, А. Г., Иглин П.В.** Мероприятия по улучшению деаэрации основного конденсата в конденсаторах паротурбинных установок. Надежность и безопасность энергетики. 2016 №3(34). С. 67-70.
3. **Водениктов А.Д., Чичирова Н.Д.** Влияние температуры охлаждающей воды на деаэрирующую способность конденсатора 200-КЦС-2. Труды Академэнерго. 2021 №4 (61). С. 7-18.

*Р.И. Камалова, ассист., Д.Ф. Хусаинова, маг., М.А. Малешина, маг.;  
рук. М.М. Замалеев, к.т.н., доц. (УлГТУ, г.Ульяновск)*

## **ДЕАЭРАЦИЯ ВОДЫ НА ТЭС УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ КОТЛОАГРЕГАТОВ**

Научно-исследовательская лаборатория «Теплоэнергетические системы и установки» Ульяновского государственного технического университета предлагает различные решения для повышения энергоэффективности процесса деаэрации воды [1, 2]. Одним из перспективных направлений разработок в данной сфере является повышение тепловой экономичности процесса деаэрации с применением нетрадиционных сред в качестве десорбирующего агента, например, использование в деаэраторе в качестве десорбирующего агента уходящих газов котла, работающего на природном газе [3].

Данная технология предложена для реализации процесса дегазации воды с использованием атмосферного деаэратора. При этом не требуется существенного изменения конструкции самого аппарата, необходимо только обеспечить подвод десорбирующей среды к колонке деаэратора.

Для оценки массообменной и энергетической эффективности данного решения произведен расчет теоретически необходимого удельного расхода десорбирующего агента для удаления из воды растворенного кислорода. Расчет выполняется на основе решения балансовых уравнений процессов массообмена и теплообмена при термической деаэрации при условии, что на выходе из деаэратора достигается равновесие между фазами [4].

В связи с несовершенством аэродинамики топочных устройств и невозможностью идеального смешения топлива и окислителя в реальных условиях, для полного сгорания топлива необходимо несколько большее количество воздуха, чем теоретический объем воздуха, полученный из стехиометрических уравнений горения. Концентрация кислорода в десорбирующем агенте на выходе из деаэратора зависит от схемы движения воды и пара в аппарате.

### **Библиографический список**

1. **Подготовка подпиточной** воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов / В.И. Шарапов. М.: Энергоатомиздат, 1996. 176 с.
2. **Справочно-информационные** материалы по применению вакуумных деаэраторов для обработки подпиточной воды систем централизованного теплоснабжения / В.И. Шарапов. М.: СПО ОРГРЭС, 1997. 20 с.
3. **Шарапов В.И., Камалова Р.И., Кудрявцева Е.В.,** Рогачев С.С. Котельная установка//Патент на изобретение RU 2629321 С1. Изобретения полезные модели. 2017.№25.
4. **Термические деаэраторы** / В.И. Шарапов Цюра Д.В., Ульяновск: изд-во УлГТУ, 2003. 560 с.

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЫХЛОПНЫХ ТРУБ ГТУ И СПОСОБЫ ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ**

Текущие условия доводят эксплуатационные условия систем промышленных газовых турбин до предела. Высокая цикличность (большое количество пусков и остановок), а также высокие локальные скорости и температуры дымовых газов создают большие нагрузки на системы выхлопных газов. Нормы охраны окружающей среды требуют строгих и более низких уровней шума, кроме того, несмотря на достаточно высокую экологичность газовых турбин, часто, их установка происходит на ТЭС в черте города, при этом высоту дымовой трубы оставляют стандартной (порядка 60 м.) Все эти факторы вынуждают прорабатывать возможные варианты модернизации выхлопной системы, с целью обеспечения надежной и безопасной работы. Для обеспечения допустимого уровня шума на стенках выхлопной трубы устанавливают шумоизолирующий материал, а также специальные глушители. Для уточнения оптимальных параметров выхлопных труб ГТУ были проведены исследования по методикам [1] и [2] В результате получили что стандартная высота выхлопных труб ГТУ в условиях городской застройки не обеспечивает допустимые приземные концентрации. Для уточнения полученных результатов требуются дополнительные исследования с большей выборкой.

**Таблица 1. Сравнение методик определения оптимальной высоты выхлопной трубы ГТУ**

Стандартная высота выхлопной трубы ГТУ	Высота дымовой трубы, рассчитанная по методике [1]	Высота дымовой трубы, рассчитанная по методике [2]
60	69,7	64,8

### **Библиографический список**

1. **Зройчиков Н.А.** Универсальная методика определения оптимальной скорости газов в газоотводящих стволах дымовых труб ТЭС / Зройчиков Н.А., Грибков А.М., Сапаров М.И., Мирсалихов К.М. // Теплоэнергетика. – 2021. - №3 С. 15-24.
2. **Environmental Protection Act 1990, 1993.** Technical Guidance Note (Dispersion) D1, Guidance's on Discharge Stack Heights for Polluting Emissions, London: HMIP.

*А.Р. Мухаметзянова, студ.; рук. А.Ш. Низамова, к.т.н., доц.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ГРЭС МОЩНОСТЬЮ 2000 МВт**

В настоящее время на станциях Российской Федерации более 80 % оборудования является изношенным и устаревшим, требуется их замена. У конденсационных электрических станций низкий КПД не более 39 %, но достоинство их в том, что они большой электрической мощности.

В период строительства станций в 1960-1970-х годов не было более мощных блоков с единичной мощностью более 1200 МВт. Они являлись перспективными, поскольку, промышленность была развита и имелись крупные производственные потребители. Но в настоящее время они морально и физически устарели, поэтому требуется модернизация этих станций с вводом новых блоков и постепенным демонтажем старых. На сегодняшний день самый экономичный способ получения электрической и тепловой энергии является внедрение парогазовой установки (ПГУ), которая имеет целый ряд преимуществ.

ПГУ можно разделить на 4 основных типа:

- ПГУ с высоконапорным парогенератором;
- ПГУ с низконапорным парогенератором;
- ПГУ с вытеснением регенерации;
- ПГУ утилизационного типа с котлом-утилизатором.

Парогазовая установка с котлом-утилизатором является наиболее перспективной и широко распространенной в мире. Такая установка отличается простотой в конструкции и высокой эффективностью производства электрической энергии. Данный тип ПГУ – единственная на сегодняшний день энергетическая установка с КПД 55 – 60 % [1].

Есть примеры мощных ПГУ, например, на Казанской ТЭЦ-3 ПГУ 405,6 МВт она является единственной установкой в России с такими параметрами, во Франции ПГУ 605 МВт с КПД 62,22 %.

Если установить две ПГУ мощностью (400-1000) МВт на станцию 2000 МВт, то они могут остановить сразу несколько существующих блоков с постепенным их демонтажем. Установка ПГУ также позволит увеличить КПД станции в 2 раза, увеличить электрическую мощность, и при этом вырастет нагрузка и выработка электрической энергии.

### **Библиографический список**

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.В. Цанева – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 584 с., ил.

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

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИН СЛОЖНЫХ ФОРМ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ТЯГОДУТЬЕВЫХ МАШИН

Эффективность пластинчатых диссипативных глушителей определяется снижением шума и минимальным аэродинамическим сопротивлением [1]. Использование пластин сложных форм позволяет снизить аэродинамическое сопротивление глушителей [2]. В работе рассматриваются три формы пластин: вогнутые, выпуклые и пластины с равномерным изменением толщины, которые используются для снижения шума осевых тягодутьевых машин конденсационной электростанции. Моделирование глушителей и расчёт затухания шума на единицу длины пластин выполнены в программе Ansys [2].

Акустические расчеты выполнены в программе Predictor. Для анализа изменения уровней звукового давления (УЗД) при установке пластин различной длины выбраны 8 точек на границе СЗЗ. В каждой из точек расчёт производился для высот 1,5; 20 и 40 м над уровнем земли.

На рисунке 1 представлены результаты акустических расчетов для глушителей с длиной пластин 2,5 м. При установке пластин выпуклой формы УЗД во всех расчетных точках соответствуют санитарным нормам. При использовании пластин с равномерным изменением толщины наблюдается превышение 1,1 дБ на среднегеометрической частоте 500 Гц. Для вогнутых пластин превышения составляют 2,6 и 0,5 дБ на среднегеометрических частотах 500 и 1000 Гц соответственно. С целью уменьшения затрат на материал и снижения аэродинамического сопротивления глушителей к применению рекомендуются пластины выпуклой формы, которые имеют большую акустическую эффективность и меньшее сопротивление в сравнении с пластинами постоянной толщины.

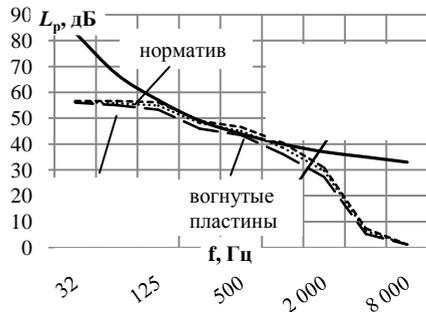


Рисунок 1. УЗД в расчетных точках

### Библиографический список

1. Тараторин А.А., Мухаметов А.Б. Анализ эффективности диссипативных глушителей сложных форм // Пятая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов «Акустика среды обитания» (АСО-2021), 24 апреля 2021, г. Москва. С.159-170.
2. Taratorin A.A., Mukhametov A.B. Optimization of complexly shaped dissipative silencers // Journal Akustika, VOLUME 39, April, 2021.

*М.А. Белов, студ.;  
рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц., А.Я. Копсов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **НОРМИРОВАНИЕ ЗАТРАТ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЮ ГЛАВНОГО КОРПУСА БЛОЧНОЙ ТЭС**

При разработке нормативных энергетических характеристик оборудования ТЭС существенный объем работ связан с нормированием затрат тепловой энергии на собственные нужды. В частности, трудоемким является расчет по статье «Отопление и вентиляция главного корпуса». Порядок определения составляющих этих затрат нормирован соответствующим руководящим документом [1]. Исключение составляет, так называемый, технологический подогрев воздуха, в отношении которого в руководящих документах отсутствуют методические рекомендации. Задачей настоящей работы является определение этой, наиболее сложной в плане расчета, составляющей, применительно к главному корпусу блочной ТЭС с энергоблоками мощностью 300 МВт.

По определению, расход тепловой энергии на технологическую вентиляцию котла ТЭС включает следующее: 1 – расход тепла на подогрев воздуха, направляемого в котел, от температуры наружного воздуха до температуры холодного воздуха (на стороне всасывания дутьевого вентилятора до врезки линии рециркуляции горячего воздуха); 2 – расход тепла на подогрев воздуха, замещающего путем инфильтрации расход воздуха с присосами в топку и газоходы котла, от температуры наружного воздуха до температуры воздуха в помещении котельной. В докладе раскрывается методика расчета этих составляющих, которая составлена на основе уравнений, описывающих тепловой баланс котла и материальный баланс газового тракта котла.

По результатам расчетов выполнено построение комплекса энергетических характеристик. Для каждого из рассматриваемых энергоблоков мощностью 300 МВт составляющая № 1 достигает 71,17 ГДж/ч (при номинальной нагрузке котла и разнице температур холодного и наружного воздуха 50 °С), составляющая № 2 – 1,47 ГДж/ч (при температуре наружного воздуха (-30) °С). Методика расчета может быть распространена на оборудование ТЭС любых типов.

### **Библиографический список**

1. **Методические указания** по нормированию расходов тепла на отопление и вентиляцию производственных зданий тепловых электростанций: РД 34.09.210-84 (МУ 34-70-079-84): ввод в действие с 01.01.85 г.

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

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

В настоящее время в энергосистеме России ведущие позиции занимает углеводородное сырье, из которого на долю нефти и газа приходится 78-79% выработки энергии страны и порядка 15% - приходится на уголь [1]. Однако запасы данных источников энергии стремительно истощаются, так как пройден пик добычи легкодоступных фракций нефти и газа, а также высоко коксующихся углей.

Следовательно, использование возобновляемых источников энергии становится все более востребовано, а одним из наиболее приоритетных направлений этой отрасли является ветроэнергетика.

Мировыми лидерами по использованию ветроэнергетических установок (ВЭУ) являются такие страны как: Китай, США, Германия, Индия. За 10 лет установленная мощность ВЭУ в мире увеличилась в 4,9 раза. Соответственно, возросла и выработка электроэнергии, превысив, по оценкам Международного энергетического агентства (МЭА), 1215 ТВт\*ч/год [2].

Ветроэнергетика России находится в процессе развития, и, по мнению Российской ассоциации ветроиндустрии [1], она является одним из наиболее перспективных направлений развития, что связано с удачным относительно розы и силы ветров географическим расположением ряда регионов нашей страны. На данный момент ветроэнергетика в России базируется на объектах, расположенных в основном в прибрежных и островных зонах (Камчатка, Крым, район Берингова и Охотского морей).

Научно-технические исследования в области разработки и установок ВЭУ показывают, что ветроэнергетика может стать как источником резервной энергии для крупномасштабных промышленных комплексов Урала и Центральной России, так и использоваться в комплексе с гидроаккумулирующими и газотурбинными установками.

### **Библиографический список**

1. **Российская ассоциация** ветроэнергетики: [сайт]. URL: <https://rawi.ru/windpower>. (дата обращения: 24.01.2021).
2. **Филиппов, С.П.** Возобновляемая энергетика: Системные эффекты /С.П.Филиппов, М.Д. Дильман// XXII Международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD, 2019) – М, 2019 – с. 558-567

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

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АБХМ В ЦИКЛЕ ГТУ**

Обычно термодинамический цикл ГТУ является открытым циклом, рабочим телом которого служит атмосферный воздух. Параметры атмосферного воздуха критическим образом влияют на КПД и выходную мощность ГТУ. Возможность использования отработанного тепла и снижение температуры атмосферного воздуха на входе в компрессор ГТУ является актуальной для данного цикла.

Характеристики ГТУ тесно связаны с параметрами наружного воздуха. При повышении температуры воздуха на всасывании в компрессор ГТУ снижается плотность и масса воздуха, следовательно, снижается мощность ГТУ. К тому же, повышение температуры снижает степень сжатия компрессора и повышает потребляемую им мощность, что приводит к дальнейшему снижению КПД ГТУ. Каждое повышение температуры воздуха на  $1^{\circ}\text{K}$  приводит к падению мощности примерно на 1%.

АБХМ (абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина) использует тепловую энергию в качестве греющего источника для нагрева бромисто-литиевого раствора. Благодаря свойствам раствора при его кипении генерируется водяной пар. Охлаждающая вода поступает в теплообменные трубы конденсатора и конденсирует пар в воду. Полученный водный конденсат поступает в высоковакуумный испаритель, резко испаряясь в условиях вакуума, в результате чего температура конденсата снижается до  $5^{\circ}\text{C}$ . Конденсат распыляется на поверхностях медных труб, охлаждая воду системы кондиционирования с  $14^{\circ}\text{C}$  до  $7^{\circ}\text{C}$ . При этом поглощает тепло из системы кондиционирования и становится паром, который поступает в абсорбер. Концентрированный бромисто-литиевый раствор поглощает пар, образующийся в процессе цикла охлаждения. Холод, вырабатываемый АБХМ, служит для охлаждения приточного воздуха на входе в ГТУ.

Преимущество АБХМ для системы ГТУ в том, что она может использовать отработанное тепло для выработки холода, что дает возможность переработать отбросное тепло для холодоснабжения и повышения КПД ГТУ без потребления электрической энергии.

Другая особенность АБХМ заключается в способности поддерживать высокий КПД при резком изменении нагрузки производства холода (5%-115%). Срок службы больше 30 лет.

*М.Е. Ерцев, маг.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ПВД ТУРБИНЫ Т-100-130**

Уровень эксплуатации энергетического оборудования во многом определяет его надежность и экономичность. В свою очередь, собственно методы и принципы эксплуатации регламентированы эксплуатационной документацией (инструкцией по эксплуатации, сетевыми графиками подготовки к пуску, графиками-заданиями пуска и др.). Одной из наиболее сложных в отношении эксплуатации технологических систем паротурбинной установки является система регенеративного подогрева питательной воды высокого давления (группа ПВД). В докладе раскрыт вопрос разработки инструкции по эксплуатации ПВД на примере турбины Т-100-130 ТЭЦ центральной части России.

Отличительной особенностью разработанной инструкции является четкое структурирование оперативных состояний (работа, резерв горячий, резерв холодный, ремонт, консервация) и режимов работы рассматриваемой технологической системы. При этом режимы работы представлены как совокупность операций, выполняемых оперативным персоналом при изменении оперативного состояния, а также при управлении оборудованием, находящимся в том или ином оперативном состоянии.

Наиболее важным при таком подходе является конкретизация тепломеханического состояния элементов обвязки технологической системы в каждом оперативном состоянии. С целью совершенствования эксплуатации турбины в этом отношении в разработанной инструкции представлена подробная карта положения арматуры и авторегуляторов группы ПВД.

Для наиболее сложных режимов, например пуска ПВД из холодного состояния, разработаны сетевые графики подготовки к пуску, представляющие собой графическое изображение последовательности выполнения операций с указанием регламентного времени и ответственного оперативного лица.

Примененный подход позволяет в структурированном виде описать все технологические операции, выполняемые персоналом при эксплуатации и обслуживании группы ПВД рассматриваемой турбины. Аналогичный подход может быть распространен не только на ПВД турбин других типов, но и на другие технологические системы паротурбинных установок, например конденсационную установку, систему регенерации низкого давления, деаэрационно-питательную установку.

*Е.А. Зарубина, студ.;  
рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц., Е.И. Рябова, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОБ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЗАТРАТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ НА РАСХОД ТОПЛИВА ЭНЕРГОБЛОКАМИ ГРЭС**

Энергосберегающие мероприятия, разрабатываемые для ТЭС, оцениваются с точки зрения влияния на общую тепловую экономичность станции, выраженную значениями удельных расходов топлива на отпуск тепловой и электрической энергии. При этом важно проводить анализ именно для тех режимов работы оборудования и тех нагрузок внешних потребителей ТЭС в паре, горячей воде и электроэнергии, которые имеют место для данной электростанции. Обычно задача решается для нескольких характерных режимов, например по месяцам фактически отработанного периода.

Проблема состоит в том, что уменьшение затрат электроэнергии на собственные нужды при неизменных величинах отпуска тепловой и электрической энергии внешним потребителям приводит к изменению режима работы и турбоагрегатов (меняется электрическая мощность, расход тепловой энергии с паром из отборов сверх нужд регенерации), и котлов (меняется выработка тепла брутто и, следовательно, расход топлива). Поэтому при оценке эффективности мероприятия необходим комплексный анализ работы всего оборудования энергоблока.

В рамках настоящей работы составлена методика расчета изменений удельных расходов топлива на отпуск тепловой и электрической энергии от энергоблоков ГРЭС при изменении расхода электроэнергии на собственные нужды. Исходными данными являются показатели работы оборудования в базовом периоде и расчетная оценка экономии энергии на собственные нужды за тот же период. Методика позволяет учесть перетоки тепла между энергоблоками по коллекторам собственных нужд, изменения тепловых и электрических нагрузок турбоагрегатов, выработки тепловой энергии котлами. При этом в новом расчетном режиме (который соответствует базовому режиму при условии, что рассматриваемое энергосберегающее мероприятие уже было бы реализовано) автоматически сводятся необходимые балансы: тепловой, электрический и топливный балансы энергоблока, а также балансы затрат тепловой и электрической энергии на собственные нужды. Расчет реализован в MicrosoftExcel с использованием средств MicrosoftVisualBasic.

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

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУЙНО-БАРБОТАЖНОГО ДЕАЭРАТОРА НА РАБОЧЕЕ ДАВЛЕНИЕ 1,5 БАР**

В энергетике, в основном, применяют деаэраторы стандартных конструкций, выбираемые из существующего ряда типоразмеров. Однако в других отраслях промышленности иногда возникает необходимость разработки деаэратора для специфических условий. В докладе рассматривается разработка деаэратора на рабочее давление 1,5 бар номинальной производительностью по деаэрированной воде 30 т/ч, который должен обеспечить относительно жесткие требования к химическому качеству деаэрированной воды: массовая концентрация растворенного кислорода не более 10 мг/дм<sup>3</sup>; водородный показатель рН<sub>25</sub> – не менее 8,7. При этом в деаэратор подается два потока исходной воды различной температуры (55 и 97 °С) со следующими усредненными характеристиками: массовая концентрация растворенного кислорода 2500 мг/дм<sup>3</sup>, рН<sub>25</sub> 7,2, общая щелочность 0,5 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Методика выполнения работы состоит в формировании варианта конструктивной схемы, синтезе для этого варианта математической модели деаэратора из подмоделей отдельных элементов (струйных отсеков, барботажных устройств) и проведении поверочного расчета для нескольких характерных режимов работы. Подмодели отдельных деаэрационных элементов разработаны в рамках подхода матричной формализации расчета тепломассообменных установок [1]. По результатам этого этапа работы определяется эффективность деаэратора по удалению растворенного кислорода. Для оценки эффективности декарбонизации воды применяется разработанная ранее методика [2].

В результате обоснован выбор конструкции, обеспечивающей получение воды требуемого химического качества во всех режимах работы в пределах регулировочных диапазонов изменения параметров.

### **Библиографический список**

1. **Эмпирическое** обеспечение ячеечных моделей тепломассообмена в системе "вода - водяной пар" и десорбции растворенного кислорода в элементах атмосферных деаэраторов / Ледуховский Г.В., Жуков В.П. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2017. № 3. С. 5-13. DOI: 10.17588/2072-2672.2017.3.005-013.
2. **Методика** прогнозирования значений рН воды, выработанной деаэраторами атмосферного давления / Ледуховский Г.В., Горшенин С.Д., Виноградов В.Н., Коротков А.А. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. № 6. С. 5-9. DOI: 10.17588/2072-2672.2015.6.005-009.

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

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНГЕЛЬССКОЙ ТЭЦ

Основными проблемами Энгельсской ТЭЦ являются физический износ оборудования, низкая стоимость электрической энергии в регионе, низкая загрузка теплофикационного оборудования.

Основной вариант развития станции предполагает реконструкцию оборудования ТЭЦ-3 с выводом из эксплуатации последней работающей на станции паровой турбины ст. № 5 ПТ-80/100-130/13 и паровых котлов ст. № 5, 6, 7. После этого ТЭЦ прекратит отпуск электрической энергии потребителям и будет отпускать только тепловую энергию с горячей водой и паром. Для компенсации снижения тепловой мощности ТЭЦ вследствие вывода из эксплуатации теплогенерирующего оборудования предлагается выполнить строительство блочно-модульной котельной (БМК) на территории станции. Дополнительно планируется монтаж газопоршневой установки мощностью 3,5 МВт для выработки электрической энергии на собственные нужды.

**Таблица 1. Техничко-экономическое сравнение вариантов перспективного развития за расчетный период с 2021 по 2028 годы**

Показатели	Ед. изм.	Сохранение ТЭЦ (В1)	Реконструкция в котельную (В2)	Отклонения (В2 минус В1)
Потребности в инвестициях с НДС	тыс. руб.	400 272,0	747 771,60	347 499,60
Затраты на производство	тыс. руб.	6 178 423,00	6 029 279,58	-149 143,42
Удельный расход условного топлива на отпущенную электрическую энергию, в том числе:	кг у.т/кВт-ч	356	0	-356
Установленная тепловая мощность,	Гкал/ч	364	311	-53
Отпуск тепловой энергии с коллекторов ТЭЦ, всего, в том числе:	тыс. Гкал	675	675	0
УРУТ отпущенную тепловую энергию	кг у.т/Гкал	146	160	14
<b>Потребность в топливе</b>	тыс. т у.т.	183 516	108 027	-75 488

Реализация мероприятий по Варианту 2 обеспечит снижение материальных затрат на производство тепловой энергии, снижение расходов на услуги подрядных организаций, ремонты, затраты воды, амортизацию. В целом экономия затрат на производство тепловой энергии составит 149,14 млн. руб. за период с 2021 по 2028 годы.

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

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ КОНЦЕССИОННЫХ СОГЛАШЕНИЙ В СФЕРЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

При существующем методе регулирования тарифов объема финансирования инвестиционной программы недостаточно для поддержания системы теплоснабжения городов в состоянии, обеспечивающим безаварийную работу, или приведения тепловых сетей в нормативное состояние. В этих условиях заключение концессионного соглашения позволяет привлечь дополнительные источники финансирования.

Результаты внедрения концессии рассматриваются на примере г. Ижевск. 19 декабря 2016 г. между ООО «УКС» и Администрацией г. Ижевска было заключено Концессионное Соглашение №1 сроком на 16 лет, по которому концессионер (ООО «УКС») обязуется за свой счет реконструировать объекты теплоснабжения города Ижевска, с целью обеспечения надежного теплоснабжения потребителей. В результате финансирование мероприятий по реконструкции и техническому перевооружению ЦТП, насосных станций и тепловых сетей вырос в 3 раза с 122,2 млн. руб. в 2016 г. до почти 400 млн. руб. в 2019 г.

**Таблица 1. Показатели надежности и энергетической эффективности за 2017-2019 годы в рамках выполненных мероприятий по Концессионному соглашению №1**

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение показателя		
		2017	2018	2019
Количество прекращений подачи тепловой энергии, теплоносителя в результате технологических нарушений на тепловых сетях на 1 км тепловых сетей в год	ед. / км	2,90	2,83	2,74
Величина фактических технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя по тепловым сетям	тыс. Гкал/год	822,91	811,62	798,69

Основным положительным эффектом от внедрения концессии следует считать резкое сокращение повреждаемости тепловых сетей в Ижевске. В 2016 г. было выявлено 3 607 повреждений на тепловых сетях, в 2018 г. – 1 909 повреждений. Снижение аварийности от уровня 2016 г. составило 47,0 %. Таким образом, заключение Концессионного соглашения позволило в несколько раз повысить уровень инвестиций, закрепить целевые показатели качества, надежности и энергоэффективности теплоснабжения потребителей в г. Ижевске.

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

## НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПАРОВОГО КОТЛА ПРИ ПУСКАХ

В данной работе анализируются последствия модернизации котла Е-50-3,9-440ГМ ст. № 6, установленного в КТУ АК ТЭЦ АО «Апатит». В результате модернизации котла была произведена замена труб второй ступени пароперегревателя.

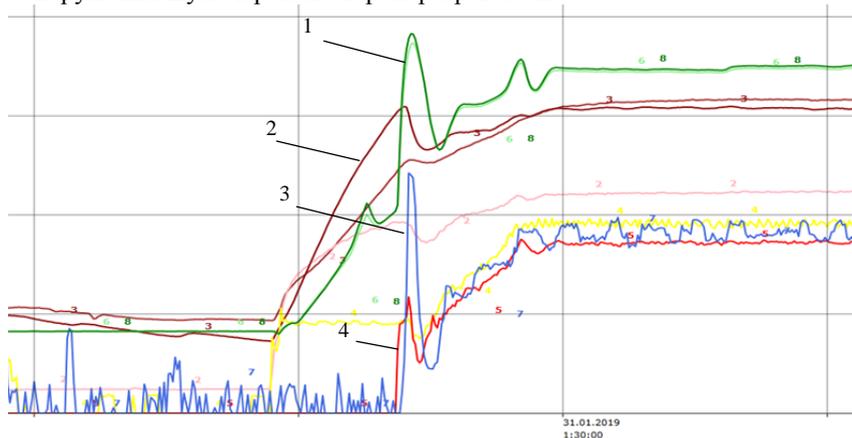
После пуска в работу котёл был остановлен действием автоматической защиты из-за недопустимого отклонения разрежения в топке, которое было вызвано выходом из строя (разрушением) трубок второй ступени конвективного пароперегревателя и выходом пара в горизонтальный газоход котла.

Основными причинами возникновения и развития повреждений трубок второй ступени пароперегревателя парового котла являются:

1. Установка второй ступени пароперегревателя с теплообменными трубками диаметром  $\varnothing 34 \times 3$  мм вместо трубок диаметром  $\varnothing 28 \times 3$  мм.

2. Недопустимо большая скорость подъёма температуры перегретого пара после котла (скорость подъёма температуры металла больше скорости подъёма температуры пара) при его растопке. Диаграмма параметров при пуске котла приведена на рис. 1.

3. Недопустимо длительное время нахождения котла в работе после обнаружения шума в районе пароперегревателя.



**Рисунок 1. Диаграмма параметров при пуске котла:**

1 – температура острого пара; 2 – температура дымовых газов в поворотной камере;  
3 – расход питательной воды на котел; 4 – расход пара от котла.

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

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК МЕЖДУ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ**

Одной из главных проблем функционирования существующих ТЭС является уменьшение подключенных тепловых нагрузок в паре и горячей воде. Это влечет снижение отпуска пара из теплофикационных и производственных отборов паровых турбин, что негативно сказывается на технико-экономических показателях работы станций. Возможным решением данной проблемы является переключение тепловых нагрузок других источников централизованного теплоснабжения.

С целью повышения эффективности работы ТЭЦ-1 в г. Пенза, в данной работе авторами рассмотрен проект переключения тепловой нагрузки ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1. Основным источником теплоснабжения в городе является ТЭЦ-1, чья установленная тепловая мощность составляет 805 Гкал/ч. При этом резерв тепловой мощности станции равен 338,5 Гкал/ч, а коэффициент использования установленной тепловой мощности находится на уровне 58 %.

Средняя фактическая тепловая нагрузка ТЭЦ-2 в летний период составляет около 22,8 Гкал/ч, в отопительный период – 118,7 Гкал/ч. Данная нагрузка обеспечивается отпуском тепла от отбора турбин с противодавлением типа Р-8,4-35/10 и водогрейными котлами.

**Таблица 1 - Сравнение рассчитанных показателей экономической эффективности проектов по сохранению фактической системы теплоснабжения и по переключению тепловой нагрузки ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1**

Показатели	Прогнозируемая величина показателя в 2034 г.		
	Сохранение фактической системы теплоснабжения	Переключение тепловой нагрузки ТЭЦ-2 на ТЭЦ-1»	Изменение показателя
УРУТ э/э на отпуск с шин (ТЭЦ-1 + ТЭЦ-2), г.у.т./кВт-ч	230,14	193,68	-36,45
УРУТ т/э на отпуск с коллекторов (ТЭЦ-1 + ТЭЦ-2), кг.у.т./Гкал	169,05	167,10	-1,95
Себестоимость тепловой энергии (ТЭЦ-1 + ТЭЦ-2), тыс. руб.	2 921 578,27	2 715 963,40	- 205 614,87

Основными результатами реализации предложенного проекта будут являться повышение эффективности работы существующего оборудования ТЭЦ-1 и снижение себестоимости производства тепловой энергии за счет вывода из эксплуатации ТЭЦ-2.

*А.П. Коренов, маг.; рук. С.Д. Горшенин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАСЧЕТ ПОПРАВОК К ОСНОВНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ТУРБОАГРЕГАТА ПТ-135/165-130/15 НА ИЗМЕНЕНИЕ СХЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ И КОНСТРУКЦИИ ЧНД**

На практике расчеты по оценке текущего состояния тепловой экономичности турбоагрегатов и ТЭС в целом выполняют с использованием энергетических характеристик (ЭХ), входящих в состав НТД по топливоиспользованию. Разработка ЭХ турбоагрегатов может осуществляться на базе типовых энергетических характеристик (ТЭХ) турбоагрегатов, включающих в себя графические зависимости изменения основных технико-экономических показателей работы турбоагрегата, а также комплект поправочных зависимостей, учитывающих отклонение фактических значений различных факторов от принятых в условиях построения ТЭХ.

Анализ ТЭХ турбоагрегата ПТ-135/165-130/15 [1] показал, что в ее составе отсутствуют поправки, учитывающие отклонения фактической тепловой схемы турбоагрегата от типовой.

На основании синтеза нормативной методики расчета поправок к основным показателям работы турбоагрегата [2] и метода коэффициентов изменения мощности [3] в работе разработан алгоритм и для турбоагрегата ПТ-135/165-130/15 ТМЗ произведены расчеты дополнительных поправочных зависимостей на работу деаэратора питательной воды от коллектора собственных нужд, на отклонение схемы слива дренажей с подогревателей низкого давления, а также на работу турбоагрегата без последней ступени ЧНД. Полученные поправочные зависимости можно использовать в качестве дополнения к утверждённой ТЭХ турбоагрегата ПТ-135/165-130/15 ТМЗ для учета возможного влияния отклонений рассмотренных факторов.

### **Библиографический список**

1. **ТХ 34-70-004-83.** Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата ПТ-135/165-130/35 ТМЗ.
2. **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 – МТ 34-70-027-86. – М. : СПО Союзтехэнерго, 1987, с изм. № 1 к МТ 34-70-027-86. – М. : СПО ОРГРЭС, 1999.
3. **Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И.** Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1982. –272 с., ил.

*Н.А. Крюков, студ.; рук. П.Г. Михеев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПЛОТНЕНИЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ К-300-240 ЛМЗ**

Рассматривается модернизация системы уплотнений турбины К-300-240 путем установки сотовых уплотнений [1].

Установка сотовых уплотнений позволяет одновременно решить две задачи:

- повысить экономичность проточной части. Экономичность повышается за счёт уменьшения радиальных зазоров между усиками бандажа ротора и уплотняющей поверхностью (сотовыми вставками), что сокращает паразитные перетечки пара;

- обеспечить надёжность и безопасность эксплуатации турбоагрегата в целом. Достигается за счёт использования особой конструкции уплотняющей поверхности, т.е. использование сот, допускающих контакт между ротором и статором турбины без каких-либо серьёзных последствий для работоспособности турбоагрегата.

Эти улучшения справедливы как для надбандажных, так и для концевых сотовых уплотнений.

Для оценки эффективности применения сотовых уплотнений на турбине К-300-240-ЛМЗ, проведено сравнение с лабиринтовыми уплотнениями и комбинированными (сотовые и лабиринтовые) уплотнениями. Сравнены основные энергетические показатели и потери энергии при установке каждого вида уплотнений. Расчеты выполнены с использованием программы теплового расчета проточной части турбины для трех комбинаций используемых конструкций уплотнений.

Как показали расчеты, наибольшие потери от утечек имеют место в лабиринтовых уплотнениях, которые составили 0,25 КДж/кг. В то время как потери в сотовых и комбинированных уплотнениях примерно одинаковы и в среднем в 2,5 - 3 раза меньше, чем в лабиринтовых.

Максимальный внутренний относительный КПД достигается при использовании сотовых уплотнений. Повышение КПД при использовании сотовых уплотнений по отношению к лабиринтовым уплотнениям составляет 2,5%.

### **Библиографический список**

1. **Применение** сотовых уплотнений на турбинах / Салихова А.А., Юшка М.П., Ушинин С.В., Ивах А.Ф. – Электрические станции, 2005, №6. – 31 с.

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

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧАЮЩЕГО МОДУЛЯ ПО ЭНЕРГОБЛОКУ ТЭС**

В настоящее время имеется достаточно большое количество литературы с описанием конструкций, оборудования и работы тепловых электрических станций. Однако, для того, чтобы найти полную информацию по конкретному оборудованию, вероятнее всего, потребуется значительное количество времени. С такой проблемой сталкиваются не только обучающиеся, но и персонал тепловых электростанций, так как большое количество эксплуатируемого оборудования произведено еще в прошлом веке. Технологические схемы и чертежи такого оборудования со временем изнашиваются и плохо читаются. Поэтому их восстановление и сохранение в электронном виде является актуальной задачей и для ряда электростанций.

Разработка интерактивного обучающего модуля по изучению технологической схемы энергоблока, основного и вспомогательного оборудования, включая большую часть запорно-регулирующей арматуры, направлена на формирование у обучающихся профессиональных компетенций в сфере их будущей профессиональной деятельности. Материал предполагается использовать на практических занятиях и при самостоятельной подготовке обучающихся по соответствующим дисциплинам направлений подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» уровня бакалавриата и магистратуры.

Обучающий модуль имеет следующую структуру. Схемы, объединяющие группы оборудования: технологическая схема (поперечный разрез главного корпуса ТЭС), принципиальная тепловая схема энергоблока, схемы маслоснабжения, регулирования турбины; с описаниями назначения выбранного оборудования и принципа их работы. Технические характеристики выбранного оборудования. Фотографии на месте их размещения. Чертежи оборудования (разрезы выполнены в цвете) с описанием конструкции. Для основного технологического оборудования возможно подключение видеофайлов, иллюстрирующих их конструкцию и работу.

Для изучения предлагается блочная тепловая электрическая станция с наиболее распространенными турбоустановками сверхкритического давления единичной мощностью 300 МВт. Основное оборудование энергоблока: паровая турбина К-300-23,5 ЛМЗ; паровые котлы ПП-950-240ГМ (ПК-41), ТГМП-114 и ТГМП-314; турбогенератор ТВВ-320-2; турбопривод питательного насоса ОР-12ПМ.

*В.А. Николаева, студ., Е.И. Сударкин, маг.;  
рук. Е.В. Барочкин., д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МЕДНОГОРСКОЙ ТЭЦ**

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

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

Вцелью повышения надежности теплоснабжения потребителей рассматривается сценарий развития системы теплоснабжения, предполагающий закрытие МТЭЦ с переводом нагрузки на три новых БМК, вывод из эксплуатации сетей крупного диаметра, строительство подводящих сетей от новых БМК, выполнение мероприятий для перехода на сниженный температурный график греющего теплоносителя от источников.

Реализация проекта позволит:

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

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

## **РАБОТА ТЕПЛОСЕТИ ГРЭС В УСЛОВИЯХ АВАРИЙНОЙ ПОДПИТКИ**

При эксплуатации тепловой сети необходимо средствами водно-химического режима (ВХР) обеспечить предотвращение образования накипных и шламовых отложений и защиту от коррозии трубопроводов и теплообменного оборудования источника и потребителей. В условиях работы тепловой сети основными коррозионными агентами являются кислород и углекислота. Процесс коррозии при этом идет с диффузионным контролем катодных реакций, то есть определяющими являются концентрации указанных коррозионных агентов. Анионы солей (гидрокарбонаты, хлориды, сульфаты) также влияют на скорость коррозии, являясь деполяризаторами анодов.

В режиме нормальной эксплуатации подпитка теплосети закрытого типа осуществляется по штатной схеме химически очищенной деаэрированной водой. При аварийной подпитке расход подпиточной воды может существенно превосходить производительность соответствующих водоподготовительной и / или деаэрационной установок, что требует направления на подпитку сырой (необработанной) воды.

Задачей настоящей работы является расчетная оценка времени восстановления показателей ВХР теплосети, источником теплоснабжения в которой является ГРЭС, после аварийной подпитки сырой водой.

Искомое время зависит от расхода и длительности аварийной подпитки, от удаленности места повреждения от источника. Эти показатели определяют значение концентрации рассматриваемой примеси в сетевой воде после окончания режима аварийной подпитки. Для определения времени снижения концентрации рассматриваемого компонента до допустимого значения нужно задать соответствующий закон водообмена. Известно, что теплосеть с точки зрения поведения в ней примесей не является ни реактором идеального вытеснения, ни реактором идеального перемешивания. То есть искомое время нормализации ВХР, например, по карбонатной жесткости, находится между этими значениями (при этом не учитывается вывод примеси из-за химических реакций и осаждения). Для расчета времени нормализации по растворенному кислороду учитывается также условная константа скорости кислородной коррозии и площадь корродирующей поверхности.

Сопоставление полученных таким образом оценок времени восстановления ВХР с требованиями руководящих документов позволяет оценить технологию аварийной подпитки теплосети конкретной ТЭС.

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

## **РАСЧЕТ РЕЖИМНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ВАКУУМА ДЛЯ ТУРБИНЫ К-800-240 С ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ НАСОСАМИ ТИПА ОПВ**

Затраты электроэнергии на привод циркуляционных насосов (ЦЭН) являются одной из наиболее существенных статей в структуре общих затрат электроэнергии на собственные нужды ТЭС. Для конденсационных ТЭС, требующих существенного расхода воды на охлаждение конденсаторов турбин, проблема уменьшения мощности, потребляемой ЦЭН, наиболее актуальна. Максимальная экономичность энергоблока соответствует, так называемому, режиму экономического (наиболее выгодного, оптимального) вакуума в конденсаторе. На практике реализация таких режимов требует разработки соответствующих режимных характеристик. Это требование закреплено «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации», но методические основы расчета таких характеристик в нормативных документах не проработаны.

Целью настоящей работы является расчет режимной характеристики экономического вакуума применительно к турбине К-800-240 с ЦЭН типа ОПВ2-185ЭГ, оборудованными механизмом разворота лопастей рабочего колеса насоса на ходу.

Задача решена следующим образом. Энергетические характеристики собственно конденсатора рассчитаны во всем регулировочном диапазоне нагрузок по методике УГТУ-УПИ. Рабочие характеристики ЦЭН приняты по данным завода-изготовителя. Гидравлическое сопротивление водяного тракта системы технического водоснабжения принято по экспериментальным данным. Собственно координаты точек характеристики экономического вакуума рассчитаны численным методом при решении сформулированной задачи однокритериальной однопараметрической оптимизации (критерий – максимум разности приращений вырабатываемой мощности и затрат мощности ЦЭН; параметр – угол разворота лопастей ЦЭН) при каждом сочетании значений внешних факторов: температуры охлаждающей воды перед конденсатором и расхода пара в него.

Полученная зависимость позволяет определять оптимальный угол разворота лопастей ЦЭН в каждом режиме работы энергоблока, поддерживая эксплуатацию турбины с экономическим вакуумом. Методика применима для любых блочных турбин с ЦЭН типа ОПВ.

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

## **ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАГРУЗКИ ДВУХ ОДНОТИПНЫХ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН**

Задача оптимизации распределения тепловой и электрической нагрузок между параллельно работающими турбоагрегатами ТЭЦ приобрела особую актуальность в предшествующие полтора десятилетия в связи с переходом к работе в условиях оптового рынка электроэнергии и мощности. Для условий каждой конкретной ТЭЦ оптимизационная задача имеет особенности формулировки и решения, что обусловлено множеством факторов, которые необходимо учитывать для получения результата с приемлемой точностью.

В рамках настоящей работы рассматривается особый случай: на ТЭЦ имеется два однопотребных турбоагрегата Т-100-130. Все характеристики турбоагрегатов идентичны. Задача состоит в определении оптимального распределения между турбоагрегатами заданных общих электрической нагрузки и тепловой нагрузки в горячей воде, отпускаемой от индивидуальных теплофикационных установок турбин. Известны суммарный расход и температура обратной сетевой воды. При этом каждая из турбин может быть отключена или же работать в любом из возможных режимов (конденсационном, теплофикационном при одно- и двухступенчатом подогреве сетевой воды). Теплофикационная установка ТЭЦ имеет байпас, позволяющий часть сетевой воды пропускать помимо сетевых подогревателей турбин. Задача решается с применением программного комплекса [1, 2] при двух вариантах критерия оптимизации: минимум (наилучший вариант) или максимум (наихудший вариант) суммарного расхода тепловой энергии на группу турбин (что эквивалентно расходу топлива котлами).

Результаты исследований позволили определить потенциал экономии топлива за счет оптимизации (до 7 %), а также установить, что оптимальное распределение нагрузок почти во всех случаях не соответствует равномерному.

### **Библиографический список**

1. **Программный** комплекс "ТЭС-Эксперт": опыт оптимизации режимов работы оборудования ТЭЦ / Барочкин Е.В., Поспелов А.А., Жуков В.П., Андреев А.А., Ледуховский Г.В., Борисов А.А. // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2006. № 4. С. 3-6.
2. **Повышение** эффективности работы ТЭЦ на основе оптимизации распределения сетевой воды / Барочкин Е.В., Жуков В.П., Борисов А.А., Ледуховский Г.В. // Энергетик. 2012. № 10. С. 13-15.

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

## **РАЗРАБОТКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ ПРОТИВОДАВЛЕНЧЕСКОЙ ТУРБИНЫ D-R C5DS-II ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ SIEMENS**

Непрерывное развитие систем теплоснабжения городов неизбежно сказывается на необходимости проведения мероприятий по модернизации и техническому перевооружению источников теплоснабжения. При этом, все чаще возникает необходимость перевода котельных в паровые мини-ТЭЦ с организацией комбинированной выработки тепловой и электрической энергии путем установки паровых турбин. Электрическая мощность устанавливаемых паровых турбин может варьироваться от нескольких сотен киловатт до нескольких мегаватт. Одним из возможных используемых для этих целей турбоагрегатов является одноступенчатый противоавленческий турбоагрегат D-R C5DS-II производства фирмы Siemens.

При разработке технико-экономического обоснования перевооружения котельной необходимо иметь энергетические характеристики существующего и планируемого к установке нового оборудования. В условиях отсутствия типовых энергетических характеристик и результатов испытаний актуальность разработки энергетических характеристик для подобных турбоагрегатов не вызывает сомнений.

В работе произведен расчет энергетических характеристик турбоагрегата D-R C5DS-II. В качестве исходного материала приняты данные завода-изготовителя, с введением поправок к мощности турбины на отклонение параметров свежего пара и давления за турбиной. Расчет выполнен в соответствии с действующими нормативными документами [1, 2] для целого диапазона значений начальных и конечных параметров пара, что позволяет рассчитать основные показатели работы турбоагрегата для всех возможных режимов его работы.

### **Библиографический список**

1. **Методические указания** по составлению и содержанию энергетических характеристик оборудования тепловых электростанций: РД 34.09.155-93. – М.: СПО ОРГРЭС, 1993.
2. **Изменение № 1** к РД 34.09.155-93. – М.: СПО ОРГРЭС, 1999.

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСПАРИТЕЛЕЙ НА ТЭС ДЛЯ БОРЬБЫ С ДЕФИЦИТОМ ВОДЫ В КРЫМУ

В данной работе рассматривается проблема нехватки питьевой воды в республике Крым. Лето 2021 года в Крыму стало самым засушливым за последние 150 лет. На конец года объем воды в водохранилищах снизился до 10 миллионов кубометров, что в 7 раз ниже нормы.

Для пополнения запасов пресной воды рассматривается возможность применения испарительных установок двух типов: мгновенного вскипания или мембранных испарителей.

Испарители мгновенного вскипания обладают следующими преимуществами: отсутствие расходных материалов, низкий уровень стоков (5 % против 30 %), отсутствие химических промывок, длительный срок службы (30 лет против 15 лет), более низкие капитальные и эксплуатационные затраты. С учетом данных факторов наиболее оптимальным является применение испарителей мгновенного вскипания.

**Таблица 1. Сравнение капитальных и эксплуатационных затрат испарителей**

Показатель	Расходы	Испарители мгновенного вскипания	Мембранные испарители
Эксплуатационные затраты, в том числе:	-	5,9 млн. руб./г.	25,6 млн. руб./г.
- затраты на эл./энергию	На 100 м <sup>3</sup> /ч	3,2 млн. руб./г.	6,3 млн. руб./г.
- замена мембран	Раз в 4 года	-	10,4 млн. руб./г.
- замена электродеионизирующей установки	Раз в 7 лет	-	4,6 млн. руб./г.
- реагенты	На 100 м <sup>3</sup> /ч	2,4 млн. руб./г.	4,3 млн. руб./г.
- замена фильтрующего материала	Раз в 10 лет	0,3 млн. руб./г.	-
Капитальные затраты на установку	100 м <sup>3</sup> /ч	120 млн. руб.	205 млн. руб.

В качестве площадки для установки испарителей предлагается использовать Севастопольскую ТЭЦ. Ввиду низкой эффективности производства тепловой и электрической энергии на ТЭЦ в 2022 году планируется вывод из эксплуатации двух имеющихся паровых турбин и отказ от отпуска тепловой энергии с горячей водой на нужды отопления потребителей. Таким образом, на станции в работе останутся паровые котлы, установка ВПУ и вспомогательное оборудование, которые можно использовать для производства пресной воды. Наличие данного комплекса оборудования и необходимой инфраструктуры позволит снизить капитальные затраты на опреснение воды и использовать существующее оборудование ТЭЦ.

*С.Б. Саниев, маг.; рук. Г.В. Ледуховский, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **О РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОВОГО КОТЛА**

Нормативные энергетические характеристики оборудования являются составной частью нормативно-технической документации по топливоиспользованию (НТД по ТИ) ТЭС и разрабатываются раз в пять лет. Задача разработки таких характеристик состоит в расчете и построении графических зависимостей основных и промежуточных показателей тепловой экономичности оборудования от нагрузки и внешних факторов. При этом в характеристиках учитывается техническое состояние оборудование и уровень его эксплуатации, отвечающие требованиям действующих руководящих документов. В докладе рассматриваются методика и результаты разработки нормативных энергетических характеристик парового барабанного котла ТЭЦ.

Методика разработки энергетических характеристик котлов базируется на нормативных методах их теплового и аэродинамического расчетов. Учитывая, что расчет является итерационным, целесообразно проводить его с применением предварительно разработанного программного инструмента. В данном случае автоматизация алгоритма выполнена средствами MS Excel и Microsoft Visual Basic.

Трудности при выполнении расчета для конкретного котла вызывает проведение ретроспективного анализа показателей его работы для установления обоснованных значений коэффициента избытка воздуха в режимном сечении и присосов воздуха в топку и конвективные поверхности нагрева. В докладе отражены результаты такого анализа на основе отчетных показателей работы котла в предшествующие разработке НТД по ТИ 5 лет помесечно.

Другим этапом, вызывающим затруднения при расчете, является определение аэродинамических характеристик газоздушного тракта котла при расчете затрат мощности на привод тягодутьемых механизмов. Рабочие характеристики вентиляторов и дымососов принимаются по справочным данным с пересчетом на соответствующую температуру среды, а для установления действительных значений сопротивления трактов требуется проводить анализ результатов режимно-наладочных испытаний котла в регулировочном диапазоне нагрузок.

В результате работы получен комплект нормативных энергетических характеристик котла, предназначенный для анализа эффективности его эксплуатации в следующие 5 лет срока действия НТД по ТИ.

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАРЫХ КОТЛОВ**

С целью повышения надёжности и КПД котлов рекомендуется замена горелочных устройств БУК. Установка современных горелочных устройств позволит более качественно подготавливать топливную смесь (природный газ-воздух), а также позволит расширить диапазон регулирования котлоагрегатов.

Достоинства данного мероприятия являются также:

- снижение удельных затрат природного газа на 5-10% за счет оптимизации процесса, снижения потерь тепла и повышения КПД;
- снижение удельных затрат электроэнергии на привод тягодутьевых средств до 20% – за счет низкого аэродинамического сопротивления горелочного устройства;
- снижение уровня выбросов токсичных веществ ( $\text{NO}_x$ , CO) за счет повышения качества сгорания и снижения потребления газа.
- работа в широком диапазоне давления газа;
- высокая равномерность распределения температурного поля в топочном пространстве;
- снижение звукового давления (уровня шума) до 75–79 дБ;
- использование на котлоагрегатах ручной регулировки режимов горения вызывает перерасход топливного газа за счёт неоптимального соотношения «газ–воздух».

Установка БУК позволит также осуществлять:

- автоматическую подготовку котлоагрегата к розжигу;
- автоматический розжиг горелок котла с переходом в режим минимальной мощности;
- управление нагрузкой и оптимизация соотношения топливо-воздух каждой из горелок котла;
- управление тепловым режимом котла;
- регулирование температуры сетевой воды на выходе из котельной в зависимости от температуры наружного воздуха;
- защиту, сигнализацию, блокировку работы котла при неисправностях;
- управление с операторских станций технологическим оборудованием (дымосос, вентиляторы, задвижки);
- обеспечение оперативного-технологического персонала информацией о параметрах теплового режима и состоянии оборудования.

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

## **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СТАРЫХ КОТЕЛЬНЫХ**

К основным факторам, снижающим эффективность и надежность теплоснабжения потребителей старых котельных, относятся:

- 1) завышенный расход электроэнергии, потребляемой насосами, снижение надежности системы;
- 2) отсутствие водоподготовительных установок;
- 3) моральный и физический износ водо-водяных подогревателей, повышенные затраты на ремонт, снижение надежности;
- 4) устаревший метод регулирования тепловой системы;
- 5) физический износ оборудования системы электроснабжения;
- 6) отсутствие данных по фактическим затратам тепловой энергии.

Для решения данных проблем разработан комплекс малозатратных мероприятий, позволяющих снизить себестоимость производства тепловой энергии и повысить надежность работы оборудования:

- 1) замена старых сетевых и подпиточных насосов с целью сокращения расхода электрической энергии, а так же повышения надежности работы системы теплоснабжения;
- 2) применение натрий-катионитовых фильтров для умягчения теплоносителя и увеличения срока службы котельного оборудования;
- 3) замена водо-водяных подогревателей на пластинчатые теплообменники, которые отличаются компактностью, высокой производительностью, простотой сервиса и обслуживания;
- 4) автоматизация тепловых процессов путем установки погодозависимой автоматики, электрофицированной арматуры, щитов управления сетевыми насосами, насосами горячего водоснабжения, подпиточными насосами.
- 5) реконструкцию системы электроснабжения с целью повышения общего качества электроснабжения, увеличения надежности оборудования, увеличения экономической эффективности оборудования, увеличения ремонтпригодности используемого оборудования, обеспечения требований экологической безопасности.
6. установка теплового счётчика для обеспечения коммерческого учета, результаты которого используются при расчетах между поставщиком и потребителем тепла, а также для технологического контроля в системах теплоснабжения.

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

## **О ВАРИАНТАХ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЭЦ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПАРОСИЛОВОГО, ГАЗОТУРБИННОГО, ГАЗОПОРШНЕВОГО ЦИКЛОВ**

Энергоснабжение промышленных предприятий в ряде случаев обеспечивается от собственных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). В этом случае при расширении основного производства предприятия возникает задача увеличения располагаемой мощности ТЭЦ. Эта задача может быть решена путем расширения ТЭЦ на базе оборудования различного типа: паросилового, газотурбинного, газопоршневого. Выбор варианта базируется на результатах разработки соответствующего технико-экономического обоснования, наиболее сложной задачей которого является определение технического эффекта (затрат топлива в том или ином характерном режиме работы станции). В докладе рассматривается решение такой задачи для ТЭЦ низкого давления, являющейся источником энергоснабжения целлюлозно-бумажного комбината.

Для определения показателей работы существующего и вновь устанавливаемого оборудования ТЭЦ в летнем и зимнем характерных режимах разработана математическая модель станции, полученная в результате синтеза подмоделей отдельных агрегатов. При этом подмодели агрегатов разработаны на основе их нормативных энергетических характеристик. Полученная модель обеспечивает автоматизированное итерационное сведение материальных, тепловых, электрических и топливного балансов при заданных нагрузках ТЭЦ по промышленному пару, горячей воде и электроэнергии. Расчеты проведены для инерционного сценария без изменения состава оборудования с закупкой дополнительной мощности из сети (1), а также для вариантов расширения на базе следующего оборудования: водогрейный котел (2); паровой котел (3); паровой котел и турбина ПТ (4); газовая турбина с котлом-утилизатором (5); газопоршневой агрегат с котлом утилизатором (6); газопоршневой агрегат без котла-утилизатора (7).

Удельные расходы условного топлива на отпуск электроэнергии, (г у.т./((кВт·ч)) / на отпуск тепловой энергии (кг у.т./ГДж) для средне-зимнего режима составили: 608,4 / 31,67 (1); 620,5 / 34,6 (2); 599,9 / 31,9 (3); 558,9 / 33,8 (4); 358,1 / 41,7 (5); 378,0 / 41,9 (6); 443,5 / 43,6 (7).

Полученные данные использованы при экономическом обосновании каждого из рассмотренных вариантов.

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

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЫЛЕСИСТЕМЫ С ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЕЙ**

На пылеугольных электростанциях широкое распространение получили замкнутые пылесистемы с шаровыми барабанными мельницами и промежуточными бункерами пыли. Транспорт пыли осуществляется отработанным в системе сушильным агентом с напора мельничного вентилятора

Существующие системы транспорта пыли являются дорогостоящими, они требуют сооружения громоздких и металлоемких пылевоздухопроводов, а в ряде случаев и установки специальных вентиляторов горячего дутья. Из-за интенсивного износа пылепроводы требуют значительных затрат на ремонт и замену. Повороты пылепроводов внизу горелок приводят к локальной концентрации пыли. Это ухудшает перемешивание пыли с воздухом в горелке и приводит к ее сепарации напод топки. Традиционная концентрация пыли в пылепроводах обычно находится в пределах  $0,5 \div 1,0$  кг/кг.

В последнее время на ряде электростанций России, работающих на каменном и буром угле, получила широкое распространение схема подачи пыли высокой концентрации. Исследования и длительная эксплуатация системы подачи пыли высокой концентрации выявили ряд ее существенных преимуществ по сравнению с традиционной схемой пневмотранспорта:

- 1 – увеличение производительности, повышение равномерности и расширение диапазона регулирования пылепитания;
- 2 – снижение износа пылепроводов и исключение пыления;
- 3 – снижение трудозатрат на ремонт и повышение ремонтпригодности пылепроводов и горелок.

В новом способе пыль с концентрацией  $30 \div 50$  кг/кг транспортируется не первичным воздухом, а независимо от него, автономным воздухом.

За счет высокой концентрации пыли в пылепроводе стало возможным уменьшить скорость транспорта пыли до  $6 \div 12$  м/с вместо  $25 \div 30$  м/с и уменьшить диаметр пылепроводов до  $60 \div 80$  мм вместо  $300 \div 500$  мм, а расход транспортирующего воздуха составляет  $0,1 \div 0,3$  % от общего расхода на горение. Смещение же пыли с первичным воздухом производится в самом горелочном устройстве путем распыления высококонцентрированной аэроsmеси в первичном воздухе.

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

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУРБИНЫ НА ПРИМЕРЕ ЦВД К-500-23,5 ЛМЗ**

В настоящее время подавляющее большинство эксплуатируемых паровых турбин ТЭС имеют сопловое парораспределение. Традиционно считается, что оно более эффективно в сравнении с дроссельным для турбин, работающих в переменном графике нагрузок. Объясняется это тем, что при частичной нагрузке дросселированию подвергается только часть пара, проходящего через один частично открытый клапан и, соответственно, потери от дросселирования пара существенно меньше, чем при дроссельном парораспределении, когда все клапаны оказываются частично открытыми.

На практике экономическое преимущество соплового парораспределения в сравнении с дроссельным не однозначно для разного типа турбин, а дополнительные конструктивные сложности очевидны. Усложняется система парораспределения, увеличивается число клапанов (на блочных турбинах два стопорных и до семи регулирующих клапанов с индивидуальными сервомоторами). Подвод пара к рабочей решетке регулирующей ступени осуществляется через несколько сопловых коробок, ввариваемых в корпус цилиндра. Все это не только усложняет конструкцию, но и заметно увеличивает капитальные затраты. 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. А выделение в проточной части специальной камеры не только усложняет конструкцию цилиндра, но вызывает и некоторое снижение КПД первой регулируемой ступени в связи с потерей кинетической энергии на входе.

В связи с этим сейчас уже нет единой точки зрения о преимуществе использования соплового парораспределения на турбинах, работающих с переменными нагрузками. Некоторые зарубежные фирмы, такие как «Сименс» и АВВ давно применяют дроссельное парораспределение в большинстве своих турбин. Дроссельное регулирование широко используется в современных паровых турбинах для блоков ПГУ.

Тепловой расчет ЦВД К-500-23,5 на номинальный и переменные режимы работы турбины с различными системами подвода пара должны показать расчетную эффективность рассматриваемых систем при различных режимах работы турбины.

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

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ КОТЛОТУРБИННОГО ЦЕХА ПЕРМСКОЙ ТЭЦ-14**

Целью данного проекта является реконструкция КТЦ станции, ввод нового более совершенного оборудования. В работе рассматривается проблема покрытия пиковых тепловых нагрузок теплосети за счет отборов турбин и повышение выработки электроэнергии.

В результате предложено установить два однотипных бойлера ПСВ-315-14/23 для увеличения расхода воды через пиковую бойлерную, модернизируя в них трубный пучок с улучшением схемы движения пара и увеличением поверхности нагрева до 420 м<sup>2</sup>.

Вертикальный сетевой подогреватель ПСВ-315-14/23 представляет собой кожухотрубный теплообменник вертикального типа. Подогреватель состоит из цилиндрического корпуса с патрубком для ввода греющего пара и расположенной над корпусом верхней водяной камеры со сдвоенным патрубком для подвода и отвода сетевой воды. Внутри корпуса размещается поверхность нагрева в виде пучка прямых трубок, которые верхними концами развальцованы в трубной доске, прижатой шпильками к фланцу корпуса. К трубной доске на шпильках крепится фланец верхней водяной камеры. Нижние концы трубок развальцованы в другой трубной доске, к которой на фланце присоединяется крышка нижней водяной камеры. Трубки изготавливаются из латуни Л-68, имеющей более высокий коэффициент температурного удлинения, чем такой же коэффициент стали корпуса. Длина трубок составляет 4,5 м.

При модернизации трубного пучка предлагается:

1. Использовать трубки диаметром 16x1 мм (вместо 19x1);
2. Увеличить количество трубок (и поверхность теплообмена аппарата) за счет оптимизации компоновки трубного пучка;
3. Применить профилированные трубки;
4. Изменить количество промежуточных перегородок и оптимизировать систему их расстановки;
5. Изменить размеры и конструкцию паротбойного щита.

Сопротивление модернизированного подогревателя в 1,5 раза ниже, чем серийного, что позволяет снизить затраты электроэнергии на перекачку сетевой воды насосами, снизить потери на собственные нужды станции и повысить КПД.

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

## **ПРОЕКТ ПАРΟΣНАБЖЕНИЯ ТУРБОПРИВОДА ОР-12ПМ С КОЛЛЕКТОРА СОБСТВЕННЫХ НУЖД СТАНЦИИ**

В настоящее время для привода питательных насосов энергоблоков сверхкритических параметров применяется в качестве основного паровой турбопривод, например, для блока 300 МВт это турбина ОР-12ПМ.

Пар на приводную турбину поступает с 3-го отбора энергетической турбины К-300-23,5 с номинальными параметрами по давлению порядка 1,5 МПа и температурой порядка 430 °С. При снижении электрической нагрузки блока параметры в отборе изменяются пропорционально изменению параметров на входе турбины (практически пропорционально расходу), поэтому обеспечить надежную работу турбопривода возможно только для нагрузок не менее 0,5 от номинальной. Для обеспечения работы энергоблока на меньших нагрузках используется питательный насос с электроприводом. В результате каждый раз при наборе нагрузки и при разгрузке приходится проводить операции по переключению питательных насосов. Это существенно снижает маневренность энергоблока. Если обеспечить всережимность работы турбопривода, то кроме повышения маневренности, получим дополнительно снижение собственных нужд блока, а в перспективе снижение капитальных затрат (на электропривод).

Использование турбопривода в сравнении с электроприводом имеет ряд преимуществ: возможность изменения производительности и напора насоса путем регулирования частоты вращения (до 6000 об/мин на ОР-12ПМ); мощность паровых приводных турбин практически не ограничена (мощность современных асинхронных электродвигателей не более 8 МВт).

В работе предлагается внести изменения в тепловую схему турбоустановки К-300-23,5, проложив паропровод от коллектора 13 ата собственных нужд станции до паропровода на приводную турбину ОР-12ПМ, с врезкой до ГПЗ. Провести тепловые расчеты приводной турбины на частичные нагрузки, с целью определения расходов пара. Рекомендовать осуществлять пуск энергоблока с приводом бустерного и питательного насосов от турбины ОР-12ПМ с подачей пара на нее от коллектора 13 ата собственных нужд станции. Обеспечить возможность перевода пароснабжения ОР-12ПМ с коллектора собственных нужд на штатный отбор с энергетической турбины при достижении определенной нагрузки и обратные действия при снижении нагрузки.



**СЕКЦИЯ 2**

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

Председатель –

к.т.н., доцент **Еремина Н.А.**

Секретарь –

к.т.н., доцент **Карпычев Е.А.**



*М.Р. Ахметшин, асп.; Г.С. Няшина, к.т.н., асс.  
(НИ ТПУ, г. Томск)*

## РЕГИСТРАЦИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ОТХОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

Проблема использования и утилизации отходов нефтедобычи и нефтепереработки является одной из самых актуальных в настоящее время [1]. Классические методы переработки, такие как сжигание или захоронение в почве, малоэффективны и оказывают негативное влияние на окружающую среду [2]. Одним из способов снижения негативного воздействия на окружающую среду является использование отходов добычи и переработки нефтей и углей в качестве компонентов водосодержащего топлива. В качестве компонентов использовались нефтешламы, фильтр-кек каменного коксующегося угля и опилки. В настоящей работе измерялись концентрации оксидов серы и азота, образующиеся в процессе горения, а также устанавливались механизмы, протекающие в процессе сжигания, позволяющие снизить концентрации антропогенных газовых выбросов [3]. По результатам исследований установлены различия характеристик выбросов для топливных композиций, в состав которых входили вышеуказанные компоненты [4]. Показано, что сжигание топливных композиций, содержащих компоненты в различных массовых пропорциях, может снизить концентрации антропогенных выбросов  $SO_2$  и  $NO_x$  на 16 – 39 % и 4 – 48 %, соответственно.

### Библиографический список

1. **Al-Mulali U.** Oil consumption, CO2 emission and economic growth in MENA countries // Energy. 2011. V. 36. №10. P. 6165–6171.
2. **Liu H., Zhao S., Xie Z., Zhu K., Xu X., Ding X., Glowacz A.** Investigation of the pyrophoric tendency of the powder of corrosion products in an oil tank // Powder Technology. 2018. V. 339. P. 296–305
3. **Няшина Г. С., Шлегель Н. Е., Стрижак П. А.** Анализ антропогенных выбросов при сжигании угольных топлив и отходов углепереработки // Кокс и химия. 2017. № 4. С. 40–46.
4. **Няшина Г. С., Курганкина М. А., Ахметшин М. Р., Медведев В. В.** Анализ состава золы при сжигании перспективных водосодержащих суспензионных топлив // Кокс и химия. 2021. № 3. С. 48–59.

*О.Е. Бабилов, студ., С.М. Власов, к.т.н.,  
доц.;рук. А.Ю. Власова, к.т.н., доц.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **СТОЧНЫЕ ВОДЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТЭС**

Комбинированные установки водоочистки совмещают мембранные процессы и технологии ионного обмена. Особое внимание уделяется регенерации фильтра смешанного действия. Различают регенерацию внутреннюю и выносную. Регенерация анионитового слоя осуществляется раствором NaOH (4–5%), а катионитового слоя – растворами H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub> (5–6%).

Сбор регенерационных вод осуществляется отдельным или совместным способом. При отдельном сборе отдельно скапливаются кислые и щелочные стоки, которые можно вернуть в цикл станции. Щелочные отходы подвергаются электродиализу и возвращаются в качестве концентрированного раствора едкого натра. При утилизации кислых стоков важное значение имеет состав регенерационного раствора, где в качестве преобладающих ионов могут быть сульфат-ионы, хлорид-ионы, нитрат-ионы. Утилизация сульфат-ионов основывается на применении шлама водоподготовки, в результате реакции нейтрализации образуются труднорастворимые сульфаты (гипс), которые выпадают в осадок. Для утилизации хлорид и нитрат ионов требуются иные технологии.

При совместном сборе сточных отработанных регенерационных растворов происходит взаимная нейтрализация. При этом стоки высокоминерализованные и требуют нормирования pH, возврат повторно в цикл станции невозможен. Данный способ не перспективен и противоречит тенденции ресурсосбережения.

Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых — кандидатов и докторов наук при Президенте РФ (Конкурс – МК-2021). ЗаявкаМК-1312.2021.4

### **Библиографический список**

1. **Alena Vlasova** and Sergei Vlasov. Research on technological unit of wastewater disposal after regeneration of H-cation exchange filters Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2021), E3S Web of Conf. Volume 216, 2021.

2. **A Yu Vlasova** and S M Vlasov. Research on acid and high-mineralized wastewater neutralization and purification process of the thermal power plant (TPP) ionite water treatment plants on laboratory stand, 15th International Scientific and Technical Conference (PESPC) 2021 Journal of Physics: Conference Series 1652 (2021) 012006 IOP Publishing.

*О.Е. Бабилов, студ., А.Ю. Власова, к.т.н., доц.;*  
*рук. С.М. Власов, к.т.н., доц.*  
*(КГЭУ, г. Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИОННООБМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ФИЛИАЛЕ АО «ТАТЭНЕРГО» КАЗАНСКАЯ ТЭЦ-1**

Биологическое загрязнение ухудшает эксплуатационные характеристики ионообменных фильтров [1]. На Казанской ТЭЦ-1 ВПУ организована по «традиционной» схеме: предварительная очистка с последующей технологией ионного обмена. В 2021 г. был проведен анализ биологического загрязнения на разных участках технологической схемы водоподготовки на КТЭЦ-1.

Биологическое загрязнение ВПУ анализировалось с помощью био-детекторов НАВ Vart тестов [2]. Выявлено повышенное загрязнение воды на фильтрах смешанного действия, установленных с целью модернизации системы ВПУ из-за внедрения парогазовой установки в 2018 г. Общее микробное число составило 6 890 000 КОЕ/мл, что говорит о достаточно высоком уровне биологического загрязнения и активном протекании коррозионных процессов. При таком уровне загрязнения оборудование может засоряться биоорганизмами. По проведенному анализу можно отметить, что регенерация ионитных фильтров не обеспечивает полной очистки ИО смол, и бицидной обработке именно этого блока стоит уделить особое внимание.

Бактерии осаждаются в трещинах ионообменных смол, могут быть вынесены в котел утилизатор и вызывают перерасход топлива, зашламливание котла, аварийные ситуации по прожогу экранных труб и снижают эффективность выработки тепловой и электрической энергии, что в целом для современных блоков ПГУ недопустимо.

Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых – докторов наук при Президенте РФ (Конкурс – МК-2021). Заявка № МК-424.2021.5.

### **Библиографический список**

1. **ZsuzsaKéki**, JuditMakk, KatalinBarkács, BalázsVajna, MártonPalatinszky, KárolyMárialigeti. Critical point analysis and biocide treatment in a microbiologically contaminated water purification system of a power plant. SN Applied Sciences (2019).
2. **Chichirova N.D.**, Chichirov A.A., Vlasov S.M., Vlasova A.Yu. Methods to reduce bacterial contamination of recycling cooling systems of a CHPP. Therm. Eng. 62, 520–525 (2015).

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

## **ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК С КОТЛАМИ-УТИЛИЗАТОРАМИ**

В 2018 году на Казанской ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3 были введены в эксплуатацию парогазовые установки с котлами-утилизаторами.

Для ПГУ с котлами-утилизаторами иностранного производства особое внимание уделяется подготовке питательной воды, которая должна быть более высокого качества, чем для паровых котлов. В нормы качества питательной воды котлов-утилизаторов введен показатель ТОС (TotalOrganicCarbon) или в русской транскрипции - общий органический углерод (ООУ) [1].

По проведенным замерам было показано [2], что в питательной воде показатель общего органического углерода значительно превышает значение  $100 \text{ мкг/дм}^3$ , в 2 – 3,7 раза в зависимости от времени забора и ТЭС. Основные причины выявлены и могут быть связаны с различными факторами: дозирование органических реагентов в питательную воду, использование нового не до конца отмытого оборудования и т.д. В этой связи, из-за высоких температур в котле-утилизаторе часть органических соединений может распадаться на углекислый газ и воду, либо на элементарный углерод, оседающий на стенках котла. Такие показатели по ООУ, если не привести их к требуемым нормативам, в дальнейшем могут иметь значимые негативные последствия для работы котла-утилизатора.

Кроме того, во всех составных частях питательной воды котла-утилизатора идентифицированы природные хорошо растворимые фракции гумусовых вещества, которые «проходят» через все фильтры и переносятся с паром. Результаты анализа показали, что вода, прошедшая очистку методом ионного обмена, а также комбинированным способом (обратный осмос-ионный обмен) удовлетворяет нормам по содержанию общего органического углерода. Таким образом, технология ионного обмена может эффективно использоваться для подготовки добавочной воды котла-утилизатора.

### **Библиографический список**

1. **СТО 70238424.27.100.013-2009.** Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС. Условия создания. Нормы и требования. М., 2009.
2. **Качественный** и количественный анализ органических примесей в составе питательных вод котла-утилизатора А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова, А.А. Филимонова, А.А. Гафиатуллина// Теплоэнергетика, 2018. № 3, С. 51-58.

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПУТЕМ КОРРЕКЦИИ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ

В работе рассматривается возможность использования пленкообразующих аминов марки HELAMIN в качестве замены традиционных реагентов, применяющихся при ведении водно-химических режимов (ВХР) и предпусковых отмывок котла-утилизатора ПГУ Вологодской ТЭЦ. Рассчитаны экономические выгоды при внедрении нового реагента, предпусковой химической обработке поверхностей нагрева, коррекционной обработке воды при эксплуатации. Проведено сравнение затрат на ведение традиционного и хеламинового водно-химического режима (табл. 1). Выгоду от применения хеламин можно оценить в 34,3 тыс. руб. ежемесячно.

Результатом исследования является оценка эффективности замены химических реагентов на хеламин. Сделан вывод о целесообразности и экономической выгоде применения хеламин.

**Таблица 1 - Сравнение стоимости ВХР**

Месяц	За каждый месяц, тыс. руб./мес.			Нарастающим итогом тыс. руб./мес.		
	Традиционный ВХР	Хеламиновый ВХР	Разница	Традиционный ВХР	Хеламиновый ВХР	Разница
0	746,6	1024,5	-277,9	746,6	1024,5	-277,9
1	58,4	41,7	16,7	805,0	1066,2	-261,2
2	58,4	41,7	16,7	863,4	1107,9	-244,5
3	58,4	19,6	38,8	921,8	1127,5	-205,7
4	53,9	19,6	34,3	975,7	1147,1	-171,4
5	53,9	19,6	34,3	1029,6	1166,7	-137,1
6	53,9	19,6	34,3	1083,5	1186,3	-102,8
7	53,9	19,6	34,3	1137,4	1205,9	-68,5
8	53,9	19,6	34,3	1191,3	1225,5	-34,2
9	53,9	19,6	34,3	1245,2	1245,1	0,1
10	53,9	19,6	34,3	1299,1	1264,7	34,4
11	53,9	19,6	34,3	1353,0	1284,3	68,7
12	53,9	19,6	34,3	1406,9	1303,9	103,0

### Библиографический список

1. Секретарев Ю.А., Мошкин Б.Н., Мехтиев А.Д. Корреляционно-регрессивный анализ составляющих себестоимости производства энергии на тепловых электрических станциях // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2015. № 2 (31). С. 47–51.

*А.Р. Галимова, А.Р. Зарипов, Г.Р. Бадретдинова студ.;  
рук. В.Э. Зинуров, асс.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ВСТАВОК В ОТСТОЙНИКЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ**

На сегодняшний день, очистка сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий от нефтепродуктов является одной из трудно решаемых экологических и технологических проблем [1]. Наиболее трудноудаляемыми загрязнениями являются тонкодисперсные взвеси, представляющие собой компоненты нефти размером менее 100 мкм. [2, 3]. Повышение эффективности их работы является актуальной задачей.

Одними из широко распространенных аппаратов для разделения водонефтяных эмульсий являются отстойники. Использование различных вставок в отстойниках повышает эффективность их работы [4]. Поэтому целью работы является исследование различных видов вставок для отстойников. В работе показано, что применение различных вставок в отстойнике позволило увеличить скорость и эффективность разделения водонефтяных эмульсий при увеличении концентрации нефти в исходной смеси с 15 до 25 %. Скорость разделения эмульсии при использовании вставок из высокопористого ячеистого материала и перегородок относительно отстойника без вставок увеличивалась в среднем на 10,9 и 14,5 % соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 616.2021.8.

### **Библиографический список**

1. **Зинуров В.Э.**, Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Харьков В.В., Галимова А.Р. Исследование процесса деэмульсации водонефтяной эмульсии в отстойнике с гофрированными пластинами // Вестник технологического университета. 2021. Т. 23. № 7. С. 61-64.
2. **Дмитриев А.В.**, Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Данг С.В. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 3 (39). С. 65-71.
3. **Зинуров В.Э.**, Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Данг С.В., Салахова Э.И. Удаление влаги из загрязненного трансформаторного масла в прямоугольных сепараторах // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 11. С. 75-79.
4. **Дмитриев А.В.**, Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Ву Линь Нгуен Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 1 (37). С. 74-81.

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

## **АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-2**

В 2010 году на Казанской ТЭЦ-2 введена в эксплуатацию новая обессоливающая установка химического цеха, включающая в себя частичное обессоливание осветлённой воды на установке обратного осмоса, установку декарбонизации для снижения  $\text{CO}_2$  с доочисткой воды на ионитных фильтрах Н–ОН с противоточной регенерацией. При эксплуатации обессоливающей установки выявлен ряд проблем: снижение надежности установки за счет выпадения алюминосодержащего реагента на поверхность мембран; перерасход химических реагентов для введения водно-химического режима системы водоочистки; увеличение доли концентрата к пермеату установки. Для повышения эффективности в 2012 г. цех химводоочисти был дооснащен предварительной осветительной установкой на основе осветлителя.

В 2021 году сотрудниками ФГБОУ ВО «КГЭУ» для анализа работоспособности и повышения эффективности химводоочистки проведены реакционные исследования биологической активности на обессоливающей установке с помощью биодетекторов Bart (HAB, SLYM, SRB и дип-слайды) [1]. Общее количество бактерий в воде составило 6 890 000 КОЕ/мл, что соответствует среднему уровню загрязнений.

Были выявлены проблемы с биообрастанием на блоке микрофилтрации, что негативно сказывается на мембранном материале. При изменении водно-химического режима блоков обессоливающей установки химического цеха, возможно, увеличить ресурс работы модулей до 40%, сократить расход собственных нужд на 15%.

Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых – докторов наук при Президенте РФ (Конкурс – МК-2021). Соглашение № 075-15-2021-170 от 17.03.2021.

### **Библиографический список**

1. **Chichirova N.D.**, Chichirov A.A., Vlasov S.M., Vlasova A.Yu. Methods to reduce bacterial contamination of recycling cooling systems of a CHP. Therm. Eng. 62, 520–525 (2015).

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

## МЕТОД ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ТЭС

Одним из источников образования осадков на оборудовании теплоэнергетических установок являются фазово-нестабильные растворы, возникающие на разных этапах движения теплоносителя, что объясняется изменением концентрации компонентов, щелочности среды, температуры, давления и другими факторами. Рассмотрели метод рН-метрии (потенциометрии) для выявления подобных систем и анализа эффективности ингибиторов осадкообразования.

Воспроизвели рН-спектры для системы по данным, в которой реализуется фазово-нестабильный раствор; получили характеристики рН-спектров для этой системы; возможность использования фосфоната «АКТИФОС» в качестве ингибитора осадкообразования (стабилизатора раствора) [2]; получили данных о влиянии природы катиона щелочного металла ( $\text{Li}^+$ — $\text{Na}^+$ — $\text{K}^+$ ) на рН-спектры в рассматриваемой системе.

Результаты рН-метрического и объемного титрований, математически обработанные для получения графических зависимостей и рН-спектров для одного раствора приведены на рис. 1.

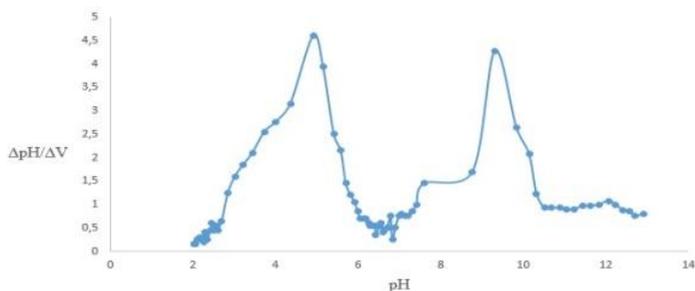


Рис. 1 – рН-спектр для раствора (состав МР:  $\text{CaCl}_2(2\text{mM})$ -  $\text{Na}_2\text{CO}_3(10\text{mM})$ - $\text{NaOH}(20\text{mM})$ )

Полученные данные и анализ рН-спектров для фазово-нестабильных растворов в отсутствие и присутствии фосфонатов позволяют считать, что рН-метрический метод является ускоренным и менее трудоемким для экспериментальной оценки эффективности ингибирующего действия фосфонатов.

*Г.В. Зарипова, И.Ф. Исхаков, А.О. Маясовастуд.;  
рук.: О.С. Попкова, к.т.н., доц.,  
(КГЭУ, г. Казань),  
О.С. Дмитриева, к.т.н., доц.  
(КНИТУ, г. Казань)*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОФРИРОВАННЫХ ВСТАВОК ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Как известно большая часть всей нефти добывается в обводненном состоянии, что приводит к образованию водонефтяных эмульсий. Из-за возникновения эмульсий происходит большая потеря нефти [1 - 3]. По этой причине вопрос об увеличении эффективности процессов, отделения компонентов водонефтяной эмульсии является актуальным.

Авторами данной работы были рассмотрены вставки с гофрированными стенками для горизонтальных отстойников, увеличивающие эффективность разделения эмульсий. Вставки с большей эффективностью, расположены под углом 45° (рис. 1)



Рис. 1 – Экспериментальная модель гофрированных вставок

Работы выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК – 616.2021.8.

### Библиографический список

1. **Зинуров В.Э.**, Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Данг С.В., Салахова Э.И. Удаление влаги из загрязненного трансформаторного масла в прямоугольных сепараторах // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 11. С. 75-79.
2. **Дмитриев А.В.**, Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Данг С.В. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. № 3 (39). С. 65-71.
3. **Мадьшев И.Н.**, Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Данг С.В., Бадретдинова Г.Р. Исследование влияния диаметра выходных отверстий на эффективность разделения эмульсии в прямоугольных сепараторах // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 24. – № 6 (155). – С. 1232-1242.

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

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ ИНГИБИТОРОВ ДЛЯ ПРОМЫВКИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ**

Эффективность функционирования системы теплоснабжения жилого здания зависит от нескольких основных показателей: качества теплоносителя, величины рабочего давления, а также от своевременного проведения технического обслуживания.

На сегодняшний день в системах теплоснабжения зданий применяют различные методы очистки от отложений: химическая, механическая, гидродинамическая, пневмогидроимпульсная.

Методы химической очистки основаны на полном либо частичном превращении нерастворимых отложений в соли или комплексы, хорошо растворимые в воде.

Химические реагенты: минеральные кислоты (соляная, серная, сульфаминовая и др.), органические кислоты (щавелевая, лимонная и др.), комплексообразующие реагенты [этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТК), ее натриевые и аммонийные соли, оксиэтилендифосфоновая кислота (ОЭДФ) и др.].

Для растворения карбонатных отложений широко используется ингибированные растворы соляной кислоты. Помимо соляной кислоты, которая малоэффективна для растворения отложений с высоким содержанием окислов железа, силикатов и фосфатов, в качестве растворителя используются серная, азотная, фосфорная, сульфаминовая кислоты и композиции на их основе. Для удаления высокотемпературных отложений, содержащих значительные концентрации оксидов железа, меди и кремния, использованы, помимо соляной кислоты, метилиминодиметилфосфоновая и нитрилтри(метилфосфоновая) кислоты. Применение органических кислот помимо эффективного растворения отложений решает еще и проблему утилизации отходов при отмывке.

Работа выполнена при финансовой государственной поддержке молодых российских ученых-докторов наук при Президенте РФ (Конкурс – МК-2021). Соглашение №075-15-2021-170 от 17.02.2021.

### **Библиографический список**

1. **Чичиров А.А.**, Чичирова Н.Д., Волков М.А., Власов С.М., Закиров И.А. Комплексная реагентная обработка воды системы технического водоснабжения с градирнями на ТЭС. Труды Академэнерго. 2012. № 1. С. 90-100.

*Г.Е. Марьин, ст. маш. ПГУ, Д.И. Менделеев, маш.-обх. ПГУ;  
рук. Б.М.Осипов, к.т.н, проф.  
(АО «Татэнерго» КТЭЦ-2, КГЭУ, г. Казань)*

## **К ВОПРОСУ КАЧЕСТВА ТОПЛИВНОГО ГАЗА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

Развитие газотурбинных технологий требует качественной подготовки топливного газа. В газовых турбинах может сжигаться топливо различных составов от природного газа до различных смесей мазута. Сжигание топлива с высоким содержанием углеводов требует более тщательного контроля при эксплуатации, так как такие топлива могут содержать агрессивные элементы (натрий, ванадий, калий) и это может приводить к ускорению развития коррозии лопаток турбины. Также примеси в топливе могут образовывать отложения.

Отложения снижают энергетические и маневренные характеристики турбины, возможен сильный перегрев проточной части в зонах отложений. Минимизировать отрицательное влияние топливного газа на турбину можно произведя расчет состава топливного газа. Топливный газ должен соответствовать по теплотворной способности. [1,2]

При работе и пусках газотурбинных установок все параметры топлива должны удовлетворять требованиям по качеству, а газ должен быть подготовлен перед использованием в качестве топлива газовой турбины. Для исключения повреждений камеры сгорания и тракта горячих газов необходимо выполнять требования качества топлива и его возможных изменений со временем.

Для проведения расчета необходимо найти условную топлива газа, по которой будет производится оценка и расчет параметров газотурбинной установки. Авторами данного исследования представлена методика определения условной формулы и энтальпии топлива.

### **Библиографический список**

1. **Marin G.E.**, Mendeleev D.I., Akhmetshin A.R. Analysis of Changes in the Thermo-physical Parameters of the Gas Turbine Unit Working Fluid Depending on the Fuel Gas Composition //International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) (Vladivostok, 1-4 October 2019). Vladivostok: IEEE, 2019. P. 1-4. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934021
2. **Марьин Г.Е.**, Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 24. № 2. С. 356–365. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2021-2-356-365>

*Д.И. Менделеев, маш.-обх. ПГУ; Р.Р. Гайнутдинов, инж.ПГУ  
Г.Е. Марьин, ст. маш. ПГУ,  
(АО «Татэнерго» КТЭЦ-2, КГЭУ, г. Казань)*

## **ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

Эффективность работы конденсаторов турбогенераторов и других теплообменных оборудований, входящих в состав системы технического водоснабжения, существенно зависит от степени чистоты теплообменных поверхностей со стороны охлаждающей воды, что в свою очередь указывает на необходимость внедрения мероприятий, предотвращающих загрязнения поверхностей теплообменников и повышающих качественные характеристики охлаждающей воды систем технического водоснабжения. [1,2]

Применение в системе оборотного водоснабжения предварительно необработанной технической воды ведет к образованию отложения малорастворимых веществ на теплообменных поверхностях конденсаторов паровых турбин. Концентрирование малорастворимых компонентов в объеме технической воды в результате испарения ее в градирнях принято считать одной из ключевых причин накипеобразования.

Накипь толщиной 1 мм приводит к повышению расхода топлива на электростанции на 7%. В связи с этим перерасход топлива на электростанциях России составляет в среднем порядка 2%, а на некоторых станциях достигает показателя около 10%.

Основным требованием к циркуляционной воде является минимизация образования в ней минеральных и биологических отложений в процессе эксплуатации оборудования системы охлаждения ТЭС. Основными среди используемых для этого методов можно выделить технологические, химические и физические. В данной статье рассмотрено применение и внедрение технологий aqua-LIK и MOL®Clean в систему оборотного охлаждения.

### **Библиографический список**

1. **Носенко В.А.** Безреагентная обработка оборотной воды в системах охлаждения // Водочистка. 2013. № 4. С. 57-60.
2. **Менделеев, Д.И., Галицкий Ю.Я.** Исследование влияния абсорбционной холодильной машины на режимы работы парогазовой установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11, № 4(44). С. 37-46.

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

## **СОСТАВ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТОК ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Одной из причин неудовлетворительного состояния теплоэнергетического оборудования может быть наличие отложений на внутренних поверхностях нагрева котлов из-за использования в качестве теплоносителя воды, которая не соответствует нормам и требованиям и содержит растворенные соли, механические и органические примеси, а также кислород и углекислый газ. Кроме того, под слоем отложений, как правило, интенсифицируются коррозионные процессы.

Продлить срок службы теплоэнергетического оборудования позволяют ведение правильно подобранного водно-химического режима на станции, а также процесс удаления продуктов коррозии и отложений, образовавшихся при эксплуатации оборудования, путем проведения химических промывок [1].

Но в результате химической очистки образуются сточные воды, содержащие как используемые реагенты, так и отложения, удаленные с поверхностей нагрева: сульфаты и хлориды кальция, магния и натрия, всевозможные токсичные соединения (соли железа, цинка, фторсодержащие соединения, гидразин), а также органические вещества (нитриты, сульфиды, аммонийные соли), для окисления которых необходим кислород.

Сбросные воды кроме этого характеризуются значительной сосредоточенностью расходов. Количество этих сбросов определяется мощностью промываемого оборудования, объемом промывочного контура и, в меньшей степени, применяемой технологией [2].

Качество сточных вод от химических очисток зависит от типа и режима работы установленного оборудования и использованного метода очистки от отложений и принимается по данным химического контроля.

### **Библиографический список**

1. **Химические** очистки теплоэнергетического оборудования Вып.2. / под ред. Т.Х. Маргуловой. М.: Энергия, 1978. 175 с.
2. **Кострикин Ю.М.**, Швецова В.П., Щербинина С.Д. Ликвидация сточных вод ТЭС – реальная техническая проблема (в порядке постановки вопроса). – «Энергетик», 1974, №8, с. 28-32.

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

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВХР КУРСКОЙ АЭС-2**

Курская АЭС-2 – в данный момент строящаяся станция. Целью сооружения Курской АЭС-2 является замещение энергоблоков №1, и №2 Курской АЭС после окончания срока их эксплуатации. Предусматривается реализация проекта энергоблоков нового поколения ВВЭР-ТОИ повышенной безопасности и улучшенных технико-экономических характеристик. После окончания строительства и ввода в эксплуатацию каждый энергоблок Курской АЭС-2 будет работать в режиме нормальной эксплуатации с ежегодной выработкой электроэнергии и отпуском тепла потребителям в течение 60 лет.

ВХР для первого контура Курской АЭС-2 предусматривает слабощелочной восстановительный координированный водородно-калиевый водно-химический режим с борной кислотой. Данный ВХР обеспечивает защиту конструкционных материалов оборудования реакторной установки и обеспечивает их проектный срок службы.

ВХР для второго контура Курской АЭС-2 предусматривает щелочной восстановительный водно-химический режим с коррекционной обработкой рабочей среды этаноламином, аммиаком и гидразингидратом. Данный ВХР обеспечивает защиту конструкционных материалов оборудования теплообменной поверхности ПГ.

Калининская АЭС – станция с 4-мя энергоблоками ВВЭР-1000. Эта станция зарекомендовала себя как надежный проект Росэнергоатома. Для оперативного контроля ВХР на Калининской АЭС используется высокоточное оборудование автоматического мониторинга. В объеме лабораторного химического контроля применяются современные приборы и методы, такие, как атомно-абсорбционная спектроскопия и ионная хроматография. Все результаты анализов заносятся в общестанционную базу данных, которая позволяет систематизировать, анализировать и хранить результаты показателей ВХР в течение всего срока эксплуатации энергоблоков КАЭС.

В работе выполнен анализ проекта Курской АЭС-2: приведена сравнительная оценка эффективности водно-химического режима по сравнению с ВХР Калининской АЭС.

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ IMSDESIGN ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЕТА УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА

Обратный осмос является одним из наиболее перспективных методов водоподготовки на ТЭС и АЭС [1]. Технологический расчёт установок обратного осмоса (УОО) сложен, поэтому на практике его проводят с использованием специализированных компьютерных программ и, чаще всего для этого применяется программа ROSA (разработчик фирма DowChemical) [1]. Однако существуют, и другие программы, позволяющие проводить подобные расчёты.

Компьютерная программа IMSdesign (разработчик NittoGroupCompanyHydraulics) предназначена для расчёта параметров установок обратного осмоса и нанофильтрации с применением мембранных элементов компании «Hydraulics». Задав показатели качества исходной воды, структуру и производительность установок, производится полный технологический расчёт, в ходе которого проводится оценка вероятности образования отложений на поверхности мембран, определяются общие характеристики установки, качество воды в основных водных потоках, а также параметры работы отдельных обратноосмотических элементов.

С использованием программы IMSdesign было проведено исследование изменения солевого содержания пермеата в зависимости солевого содержания исходной воды (рис. 1).

Составлены описание и методические указания по применению программы IMSdesign для проведения технологического расчёта УОО.

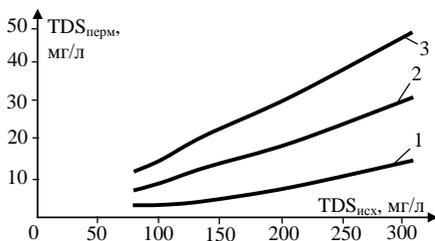


Рис. 1. Зависимость изменения качества пермеата в зависимости от солевого содержания обрабатываемой на УОО воде: 1 – однокаскадная УОО; 2 – двухкаскадная; 3 – трехкаскадная

### 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.

*П.Р. Артюхова, студ.; рук. Б.М.Ларин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ТИПОВОЙ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

Модернизация водоподготовительных установок 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 мало-минерализованной воды, что отвечает качеству значительной части водоисточников России, применение установок обратного осмоса (УОО), существенно уменьшает солевые сбросы, но повышает себестоимость обессоленной воды, не уменьшая расхода 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.

В данной работе был проведен анализ поиска путей улучшения технологических и экологических показателей водоподготовительной установки, основанной на традиционной схеме химического обессоливания, на примере Костромской ГРЭС. Анализ технологических режимов проводился в условиях сравнения результатов эксплуатации ВПУ КГРЭС в 2013-2014 годах и в 2019-2021 годах, что показало необходимость модернизации установки[1]. Выявлены несовершенства действующей водоподготовительной установки Костромской ГРЭС и проведен анализ возможности использования мембранных технологий.

На основе характеристик установок обратного осмоса и ионитных фильтров было предложено схемное решение, которое позволит повысить некоторые параметры действующей схемы водоподготовительной установки.

### **Библиографический список**

1. **Ларин Б.М.**, Бушуев Е.Н., Еремина Н.А., Колодяжная М.Э. Модернизация типовой водоподготовительной установки // Электрические станции. - 2021. - №4.

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

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ВПУ НА ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-3**

Ивановская ТЭЦ-3 – филиал «Владимирский» ПАО «Т Плюс» предназначена для обеспечения тепловых нагрузок по пару и горячей воде промышленных предприятий и жилищно-коммунальной застройки юго-восточного района города Иванова и Кохмы. ТЭЦ-3 расположена в 3-х километрах к юго-востоку от города Иванова на левом берегу реки Уводь.

Установленная мощность станции 330 МВт. Главное здание ТЭЦ расположено таким образом, чтобы оно могло, свободно расширяться в сторону одного из торцов. Химводоочистка ТЭЦ состоит из установок: химического обессоливания, подпитки теплосети. К складу реагентов ХВО подводятся железнодорожные пути и предусматриваются подъездные пути автотранспорта.

В работе приведены технико-экономические сравнения вариантов, разрабатываемых ВПУ для ИвТЭЦ-3 для замены ТЭЦ-2, если ее выведут из работы. Для снабжения жителей областного центра теплом и горячей водой, необходима дополнительная водоподготовительная установка, которая сможет обеспечить подпитку теплосети.

Рассмотрены три предлагаемых варианта технологических схем обработки воды: химическое обессоливание, термическое обессоливание и обессоливание на основе мембранного метода. На ТЭЦ-2 стоят установки термического обессоливания, что позволяет получить умягченную воду, но использование таких ВПУ не рационально, так как на ТЭЦ-3 уже налажены поставки кислоты и щелочи. Мембранный метод имеет массу преимуществ по сравнению с первыми двумя методами, но есть и недостатки такие как: относительно высокая стоимость; высокие требования к уровню автоматизации, жесткие требования к составу и качеству воды. Химическое обессоливание имеет невысокое качество очищенной воды и большой расход реагентов на регенерацию. В работе выполнен сравнительный анализ химического, термического и мембранного методов обессоливания для ВПУ на ТЭЦ-3.

### **Библиографический список**

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

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

## **УСТРАНЕНИЕ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Техногенные катастрофы, связанные с попаданием нефтепродуктов на поверхность воды и почвы, вызывают негативную реакцию общественности и требуют существенных затрат на ликвидацию последствий. Предлагаемая технология позволяет сократить эти затраты.

Если на поверхность разлитого на воде нефтепродукта нанести тонкомолотый порошок сорбента с удельной плотностью выше  $1000 \text{ кг/м}^3$ , то через некоторое время в слое нефтепродукта возникнут «комки» из сорбента и нефтепродукта. При достижении размера «комка» с весом, превышающем выталкивающую силу воды и силу поверхностного натяжения он в виде капли пройдет через слой нефтепродукта и опустится на дно водоема. Через некоторое время поверхность воды очистится от нефтепродукта.

В России существует месторождение природного минерала шунгита, уникальные свойства которого обеспечиваются микроструктурой углеродной составляющей вещества в виде многослойных фуллереноподобных полых сферических глобул диаметром 10-30 нм. За счет развитой внутренней поверхности частицы шунгита активно впитывают в себя нефтепродукты, образуя устойчивые соединения. Шунгит добывается открытым способом, стоимость кускового шунгита не превышает 10000 р/т.

Мы провели следующий эксперимент. В прозрачный стакан налили воды, затем нефти и на образовавшийся слой насыпали мелко измельченного порошка шунгита. Спустя минуту от слоя нефти стали отделяться «комки» в виде капель и оседать на дне стакана. После пяти минут поверхность воды практически очистилась от нефти. Расход шунгита составил 1,5 кг шунгита/кг нефти. Нефтяной осадок удалось поджечь только с помощью паяльной лампы, разогрев до температуры  $\sim 400^\circ\text{C}$ . При отсутствии дополнительного подвода тепла горение прекращалось.

Для практического применения способа необходимо провести мезо-биологические исследования, определить оптимальный дисперсный состав шунгитового порошка и разработать технологию подачи порошка на поверхность разлитого нефтепродукта.

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

## **ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Очистка сточных вод тепловых электростанций и промышленных предприятий представляет сложный технологический процесс, ограниченный жестким нормированием по качеству очищенных стоков и характеризующийся образованием твердых осадков, утилизация которых сопряжена с рядом проблем [1]. Одной из проблем является неприятный запах, вплоть до удушающего. Запах образуется при бактериальном разложении органических остатков необработанного осадка (кека). Применяемые на крупных станциях реагенты, как правило, импортного производства, распыляются над поверхностью иловых площадок, нейтрализуют сероводород и меркаптаны в воздухе и уменьшают запах, не решая коренной задачи связывания веществ, продуцирующих летучие продукты.

В данной работе представлены результаты промышленного исследования новых отечественных реагентов ВТИАМИН СТ-15 и ВТИАМИН СТ-15А, предназначенных для обработки отделяемого осадка, как в процессе его уплотнения, так и на площадках складирования и длительного хранения (три способа обработки осадка) [2]. Полученные зависимости снижения концентрации сероводорода от времени (вплоть до нуля) в помещении центрифугирования и дана органолептическая оценка кека в период испытаний. Показаны преимущества предлагаемых реагентов и даны рекомендации по их применению с указанием эффективных концентраций.

### **Библиографический список**

1. **В.Б. Лукина**, Б.М.Ларин Микробиология воды. Иваново. ИГЭУ. 2016. 180 с.
2. **К проблемам** очистки сточных вод электростанций промышленных предприятий и других типов очистных сооружений/ В.В. Козловский, Е.Ф. Нартя, А.Ф. Ликий, А.И. Руснак, А.Б. Ларин // Энергосбережение и водоподготовка: журнал. - Москва: ООО "ЭНИВ". -2021. - №5. С. 9-18.

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

## ПРОГРАММА “WAVE” – ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВПУ

При проектировании водоподготовительных установок (ВПУ) ТЭС и АЭС часто используются компьютерные программы, такие как ROSA, IMSDesign, CADIX, NanotechPRO и др., которые позволяют проводить технологический расчет отдельных стадий водоподготовки, в основном на базе мембранных методов [1].

Программа "WAVE" (разработчик Dow Chemical Company) предназначена для проектирования и моделирования работы ВПУ, которые могут включать следующие ступени очистки: ультрафильтрация, умягчение на H- или Na-катионитных фильтрах, обратный осмос, обессоливание и дообессоливание на основе H-OH-ионитных противоточных фильтрах. В программе предусмотрен визуальный ввод отдельных стадий водоподготовки.

Был проведен многовариантный расчет с использованием компьютерной программы "WAVE", в ходе которого определено изменение удельного количества кислоты и щёлочи (в пересчёте на 1 м<sup>3</sup> обессоленной воды) в зависимости от минерализации обрабатываемой воды и технологии обессоливания (рис. 1).

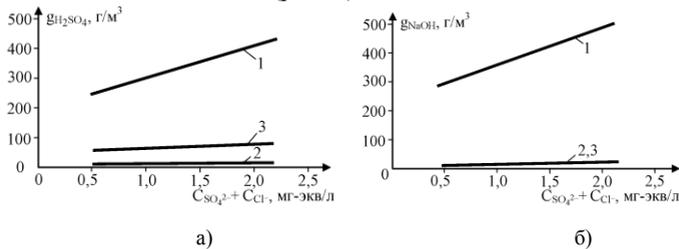


Рис. 1. Зависимость изменения удельного расхода кислоты (а) и щелочи (б) в зависимости от минерализации обрабатываемой воды и технологии обессоливания:

1 – противоточное ионирование; 2 – деминерализация на установке обратного осмоса (УОО) с дообессоливанием на H-OH-ионитной ступени; 3 – деминерализация на УОО с дообессоливанием на H-OH-ионитной ступени при подкислении исходной воды

### Библиографический список

1. Бушуев Е.Н. Технология обессоливания воды на ТЭС на основе мембранных методов // ФГБОУВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина». –Иваново, 2017. –144 с.

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

## **К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ УСТАНОВОК ОБРАТНОГО ОСМОСА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ БАРАБАННЫХ КОТЛОВ**

Затраты на водоподготовку – это неотъемлемая часть эксплуатационных расходов энергетики, химического и нефтеперерабатывающего комплексов. Если исключить из рассмотрения вопросы, связанные с использованием воды в контурах охлаждения, то для промышленных целей в подавляющем большинстве случаев применяют умягченную или обессоленную воду. В настоящее время вместо традиционной 2-х ступенчатой схемы очистки воды все чаще предприятия внедряют мембранные технологии, а именно установки обратного осмоса (УОО) и ультрафильтрации. УОО убирают практически все загрязнения – нитраты, сульфаты, хлориды, сухой остаток, мутность, красители и некоторые новые ВПУ основаны на применении такого способа очистки, например: ВПУ на ТЭЦ-12 ОАО «Мосэнерго», ТЭЦ ОАО «Северсталь», Уфимской ТЭЦ-1, ОАО «Ивановские ПГУ». Использование обратного осмоса дает возможность извлекать на одной ступени очистки до 96–98 % солей, что близко к эффективности одной ступени ионного обмена.

УОО для целей деминерализации также обладают рядом преимуществ перед схемой традиционного двухступенчатого ионирования: их применение не сопровождается затратами больших количеств реагентов (кислот и щелочей) на регенерации; исключается образование высокоминерализованных стоков; достигается значительно более высокая, чем при ионном обмене, степень удаления из обрабатываемой воды органических соединений (в том числе инеполярных) и коллоидной кремневки; отсутствует необходимость нейтрализации сбрасываемых стоков.

В конечном итоге вышеперечисленные обстоятельства приводят к тому, что эксплуатационные затраты при использовании мембранных технологий оказываются существенно ниже, чем в случае традиционной технологии ионирования. Поэтому установки обратного осмоса могут быть рекомендованы к рассмотрению для ТЭЦ барабанных котлов.

*К.М. Лебедева, студ; рук. Б.М. Ларин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА «ЛИДЕР-АПК» ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ И ПАРА НА АЭС**

Получаемая на ВПУ обессоленная вода должна соответствовать нормам качества добавочного теплоносителя, которые зависят от вида и типа основного оборудования электростанции. При всем многообразии природных вод и условий их обработки на ВПУ удаление примесей подчиняется единым количественным законам химических равновесий термодинамических систем. Методика косвенного определения ионных примесей водного теплоносителя позволяет рассчитывать концентрации нормируемых примесей (рН, аммиака, ионов натрия, углекислоты, щелочности) по измеренным значениям.

Проведены химические анализы проб питательной, котловой воды и пара второго контура АЭС с ВВЭР-1000 и расчеты по программе «Лидер АПК». Определены значения рН и суммарной концентрации ЭТА+NH<sub>3</sub> в точках контроля теплоносителя. Анализатор «Лидер АПК», разработанный сотрудниками кафедры ХХТЭ совместно с предприятием «НПП «Техноприбор»» (г. Москва), предназначен для измерений водородного показателя (рН), приведенного к 25 °С и концентрации аммиака в питательной воде, паре и обессоленной воде в системах контроля технологических процессов на электростанциях.

По итогам исследований показана возможность оперативного определения показателя рН, суммарной концентрации аммиака и ЭТА в питательной воде и паре, а также концентрации ЭТА в котловой воде парогенератора по показателям удельной электропроводности охлажденных проб (в виде  $\chi$  и  $\chi_{н}$ ).

### **Библиографический список**

1. **Ларин Б.М.** «Обессоливание воды методом обратного осмоса и ионного обмена», Иваново 2016;
2. **В.Н. Воронов**, Б.М. Ларин, В.А. Сенина «Химико-технологические режимы АЭС с ВВЭР», М. Издат. Дом. МЭИ. 2006.

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

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЮ ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ НА ТЭС**

Получение обессоленной воды на ТЭС и АЭС осуществляется на водоподготовительной установке (ВПУ), при этом используются различные технологии и схемные решения [1]. Для оценки технологического совершенствования традиционных и перспективных схем водоподготовки, а также для анализа мероприятий энерго- и ресурсосбережения необходимо проводить технологические расчеты ВПУ. Для их выполнения используют компьютерные программы как российского, так и зарубежного производства, такие как ROSA, IMSDesign, WAVE, CADIX, NanotechPRO и др. Однако в основном они предназначены для расчёта лишь отдельных стадий водоподготовки с ориентацией на оборудование, выпускаемое фирмой-разработчиком.

Для выполнения технологического расчёта ВПУ авторами производится усовершенствование существующих, а также разработка новых математических моделей для ряда стадий водоподготовки (противоточного ионирования, мембранных технологий и т.д.). На основе таких моделей разрабатываются расчётные методики, а также ведётся разработка компьютерной программы по технологическому расчёту основных схем обессоливания воды. В ходе расчёта определяются основные технологические, экологические и технико-экономические показатели работы ВПУ, что позволяет проводить анализ существующих мероприятий по ресурсосбережению, оценивать их основные преимущества и недостатки, а также определять область их применения. Разрабатываемая компьютерная программа может использоваться как при проектировании новых ВПУ, так и при анализе технологического совершенства действующих установок.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №19-08-0044.

### **Библиографический список**

1. **Ларин, Б.М.** Совершенствование водоподготовки на ТЭС / Б.М. Ларин, Е.Н. Бушуев, А.Б. Ларин, Е.А. Карпычев, А.В. Жадан // Теплоэнергетика. – 2015. № 4. – С. 58–64.

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

## ВЫПОЛНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЕТА УСТАНОВКИ ОБРАТНОГО ОСМОСА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ «NANOTECHPRO»

В последнее время при проектировании ТЭС большое внимание уделяется малореагентным методам водоподготовки, и, прежде всего обратному осмосу. Технологический расчет установки обратного осмоса (УОО) проводят с использованием различные компьютерных программ.

Программа «NanotechPRO» (разработчик АО «РМ Нанотех») предназначена для расчёта УОО с применением мембранных элементов компании «РМ Нанотех». Она имеет интерфейс на русском языке и ее можно свободно загрузить с сайта разработчика. Программа позволяет на основе задаваемых показателей качества обрабатываемой воды, производительности и данным по структуре установки, производить полный ее технологический расчёт, в ходе которого проводится оценка вероятности образования отложений на поверхности мембран, определяются общие характеристики установки, качество воды в основных водных потоках, а также параметры работы отдельных обратноосмотических элементов. При вводе исходных данных указываются критические ошибки, которые не позволяют сделать расчёт мембранной установки. В программе представлены данные по соответствию мембранных элементов компании «РМ Нанотех» элементам других фирм-производителей (Dow, CSM, Hydranautics, Toray, КОСН).

С использованием программы «NanotechPRO» было проведено исследование влияния доли собственного рецикла технологические характеристики УОО (рис. 1).

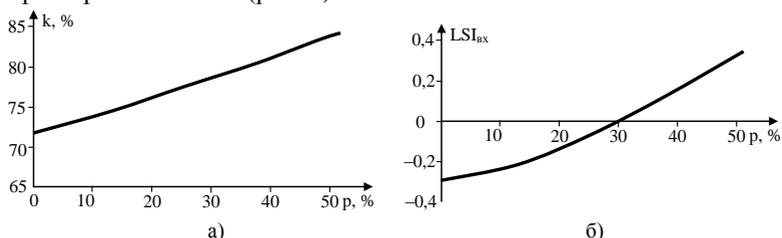


Рис. 1. Зависимость изменения гидравлического КПД УОО (а) и индекса Ланжелье в обрабатываемой воде (б) в зависимости от доли собственного рецикла

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

## ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ ИОНИТОВ НА АЭС

Ионный обмен широко применяется при обработке природной воды и конденсата на АЭС.

На АЭС предъявляются высокие требования к качеству ионитов, но не все поставщики доставляют качественный продукт, поэтому на станции имеет большое значение контроль ионитов.

Перед использованием любого ионита он должен проходить входной контроль качества. Испытанием ионитов предшествовал отбор пробы и подготовка к испытаниям (рис. 1), а вслед за испытаниями проводится метрологическая оценка результатов с определением достоверных границ погрешности.

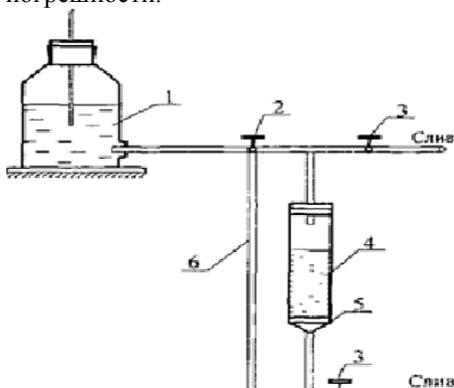


Рис. 1 – Лабораторная установка для подготовки ионитов к испытаниям: 1 – напорная емкость; 2 – трехходовой вентиль; 3 – запорные вентили; 4 – ионообменная колонка; 5 – дренаж; 6 – трубки соединительные

Подбор показателей качества ионитов производится на основании предварительных исследований, в условиях использования ионитов в схемах водообработки на АЭС с учетом паспортных характеристик производителя.

В ядерной энергетике находят применение отечественные ионообменные материалы преимущественно следующих марок: катионит КУ-2-8 в водородно-солевой форме, анионит АВ-17-8 в гидроксидной форме, катионит КУ-2-8чс в водородной форме и анионит АВ-17-8чс в гидроксильной форме.

Проведен анализ использования PuroliteA845 или его аналог PuroliteA847 при обработке природной воды без предочистки на осветлителях вместо анионита АН-31 в фильтрах А1.

*А.М. Палкин, Р.А. Мухин, студ.; рук. В.Н. Виноградов,  
к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИ ПЕРЕМЕННОМ КАЧЕСТВЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ**

Основным критерием оценки эффективности водно-химического режима пароводяного тракта ТЭЦ является состояние внутренних поверхностей паровых котлов и проточной части паровых турбин [1,2].

При частых изменениях состава воды, конденсата образуются дефектные оксидные пленки, плохо защищающие металл от коррозии. Переменный режим работы котлов и турбин способствует растрескиванию пассивирующих защитных плёнок, способствует массопереносу продуктов коррозии в пароводяном тракте, ухудшению качества вод, паров и конденсатов. При любом изменении качества питательной и, следовательно, котловых вод происходят перестройка структуры и состава отложений, изменения удельной массы отложений на поверхности труб.

Коррозионная агрессивность химочищенной воды больше, чем обессоленной воды. В результате коррозии трубопроводов химочищенная и обессоленная воды загрязняются продуктами коррозии стали, ухудшающими качество питательной воды и увеличивающими загрязненность экономайзерных и испарительных труб котлов.

Основной особенностью ведения ВХР при переменном качестве питательной воды является корректное поддержание рН, что включает в себя непрерывное дозирование корректирующих реагентов, декарбонизацию химочищенной воды и пермеата и переход к дозированию аммиака в деаэрированную воду, а также автоматизация управления насосами-дозаторами.

### **Библиографический список**

1. **Лифшиц О.В.** Справочник по подготовке котельных установок., - Москва, «Энергия», 1976.
2. **Кострикин Ю.М.,** Мещерский Н.А., Коровина О.В. Подготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. Справочник 1990.

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

## **АНАЛИЗ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВХР ИВАНОВСКОЙ ТЭЦ-2 В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НАГРУЗКИ**

Ивановская ТЭЦ-2 обеспечивает теплом и горячей водой основную часть жителей областного центра с 1954 г, используя в качестве теплоносителя воду из р. Уводь. В долгосрочной перспективе электроцентраль могут перевести в отопительный режим с использованием котлов среднего давления, следовательно, потребуется пересмотр существующего водного режима станции и реконструкция (оптимизация) действующей ВПУ. В состав химического цеха станции входит ВПУ подпитки котлов и ВПУ подпитки теплосети.

При планировании реконструкции ВПУ для подпитки котлов среднего давления необходимо учесть возможность использования существующего оборудования: осветлители ЦНИИ-3 и ВТИ-100и, а также механические фильтры и Н-На-катионитные фильтры. Для обеспечения требуемого качества подпиточной воды на энергообъекте типа водогрейной котельной необходимо вырабатывать на ВПУ умягченную воду.

В работе выполнен сравнительный анализ различных вариантов схем подготовки умягченной воды, соответствующей нормативным требованиям, учтено условие наименьшего уровня получаемых затрат. При выполнении расчетов использовались схемы прямоточного и противоточного ионирования, а также схемы с использованием мембранных технологий.

На ИвТЭЦ-2, имеющей оборудование и реагенты для осуществления процесса умягчения воды, наиболее рационально применение противоточного ионирования, т.к. это позволит в существенной степени сократить затраты на оборудование и строительно-монтажные работы.

По технико-экономическим критериям, рассчитанным у предлагаемых вариантов схем реконструкции, был выбран наиболее оптимальный вариант, позволяющей с использованием текущего потенциала станции обеспечить нормативное качество получаемой ХОВ и приемлемый уровень ее себестоимости.

### **Библиографический список**

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

*А.В. Чельшова, студ., рук. А.Б. Ларин, д.т.н. доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ**

Для оборотных систем охлаждения основной задачей обработки охлаждающей воды является предотвращение образования кальциевых отложений (в основном карбоната кальция), условия для возникновения которых возникают в связи с повышением концентрации ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  вследствие испарения воды.

Постоянный приток внешнего воздуха и контакт его с охлаждаемой в градирне водой ведет к насыщению воды кислородом, что усиливает процесс коррозии конструкционных металлов и способствует развитию колоний водорослей и микроорганизмов [1,2].

Основным направлением предотвращения процессов коррозии, образования отложений и биологического обрастания являются мероприятия водно-химического режима систем оборотного охлаждения (СОО), связанные, как правило, с дозированием в циркуляционную воду химических реагентов.

Существующие методы коррекционной обработки воды не гарантируют обеспечения нормируемых показателей качества воды охлаждающего цикла, поэтому проблема совершенствования ВХР СОО остается актуальной и на сегодняшний день.

Научные исследования в этом вопросе направлены на снижение низкотемпературного накипеобразования, скорости коррозии конструкционных материалов, объема и агрессивности продувочных (сточных) вод. Существует множество различных ингибиторов для ведения ВХР. В работах Казанского государственного энергетического университета ведутся разработки по совмещению схемы СОО со схемами водоподготовки на ТЭС. Обобщая результаты научных исследований, можно заключить, что глобальным направлением решения проблем образования отложений и коррозии в СОО на ТЭС является применение ингибиторов.

### **Библиографический список**

1. **Воронов В.Н.** Водно-химические режимы ТЭС и АЭС/ В.Н.Воронов, Т.И.Петрова. – М.: Издательство МЭИ. С.50-62.
2. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / Минэнерго России. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003

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

## **УТИЛИЗАЦИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АЭС**

Эксплуатация АЭС связана с образованием твердых, жидких и газообразных радиоактивных отходов, которые могут негативно влиять на окружающую среду.

Источником радиоактивных отходов АЭС являются процессы деления ядра топлива и активации нейтронами различных материалов, присутствующих в активной зоне реактора и околореакторном пространстве – продуктов коррозии конструкционных материалов, примесей теплоносителя и замедлителя, ядер самого топлива, воздуха приреакторных помещений и др. Подавляющая часть радиоактивных веществ, образующихся в процессе работы реактора, сконцентрирована в топливе [1].

В связи с особенностями конструкции и управления водородными реакторами, на АЭС с такими реакторами образуется большое количество жидких радиоактивных отходов – порядка 30-40 тыс.м<sup>3</sup>/год, часть которых относится к категории проблемных для обработки, так как имеет сложный химический и изотопный состав [2].

Переработка ЖРО направлена на решение двух главных задач: очистки основной массы отходов от радионуклидов и концентрирования последних в минимальном объеме.

Хранение, как один из этапов в общей схеме обращения с РАО, может осуществляться с целью:

снижения активности и тепловыделения отходов перед захоронением;

создания резерва времени на разработку и сооружение могильника.

МАГАТЭ считает предпочтительным захоронение отходов в твердом виде, однако не исключает и захоронение и в жидком виде. Тем не менее, содержание трансурановых радионуклидов не должно превышать установленных стандартных норм и должна быть обеспечена локализация отходов в пределах границ горных отводов недр.

### **Библиографический список**

1. <https://www.dissercat.com/content/obrashchenie-s-zhidkimi-radioaktivnymi-otkhodami-v-proektakh-aes-novogo-pokoleniya-s-reaktor>
2. <http://edu.strana-rosatom.ru/glava-7-radioaktivnyie-otxody-i-otrabotavshee-yadernoe-toplivo/>

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

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ PUROTECHBW4 ДЛЯ ВХР БАРАБАННЫХ КОТЛОВ**

Применение пленкообразующих аминов, хорошо зарекомендовало себя при работе на ТЭЦ с барабанными котлами. В настоящее время для этой цели чаще всего применяется хеламин. Цены на него растут, поэтому создаются альтернативные варианты данного реагента, одним из вариантов является PuroTechBW4.

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

На Владимирской ТЭЦ-2, проводились опытно-промышленные испытания по замене хеламина на PuroTechBW4. Рабочий раствор реагента готовится с заданной концентрацией и дозируется в котёл-утилизатор для предотвращения накипеобразования и отложений на теплопередающих поверхностях и барабанах КУ, для поддержания pH котловой воды КУ в пределах 8,9– 9,6, также для проведения консервации котла-утилизатора.

Испытания показали, что дозировании реагента PuroTech BW4 наблюдается снижение содержания кремнекислоты в котловой воде высокого давления, в котловой воде низкого давления содержание кремнекислоты немного выше по сравнению с режимом при дозировании реагента хеламин, но не превышает устанавливаемую в режимной карте норму 350 мкг/дм<sup>3</sup>.

В период проведения ОПИ с применением реагента PuroTech BW4 показатели качества ведения водно-химического режима соответствовали нормируемым величинам. Единственным фактором, оказывающим влияние на соблюдение норм качества питательной воды котла, является непостоянство добавочной воды.

Так же реагент PuroTech BW4 имеет все необходимые характеристики для эффективного и надежного аминосодержащего водного режима.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что PuroTechBW4, является достойной альтернативой хеламину.

**СЕКЦИЯ 3**

**ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Председатель –  
к.х.н., доцент **Ионов А.В.**

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



*Д.Р. Сахипгареев, студ.; рук. А.В. Морозов, д.т.н., доц.  
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск)*

## **РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОМОЩИ ПРИРОДОПОДОБНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Рациональное использование низкопотенциальной энергии электростанций даст возможность решить ряд проблем, связанных с экономикой и экологией. Для данной цели становится актуальным применение аккумуляторов тепла, способных собирать, хранить и применять тепловую энергию для нужд человека [1]. Главной проблемой в ходе разработки и последующего проектирования данных устройств становится подбор теплоаккумулирующего материала (ТАМ) с наиболее оптимальными и полезными характеристиками. По современной классификации существуют три основных типа тепловых аккумуляторов: жидкостные, с твердым теплоаккумулирующим материалом и аккумуляторы фазового перехода (АФП) [1].

Альтернативным способом аккумуляирования низкопотенциального тепла является возможное использование природоподобных технологий, в основе которых лежит протекание биохимических реакций в живых клетках макроэргических соединений, имеющих способность накапливать, хранить и расходовать тепловую энергию в ходе протекания химических реакций [2]. Одной из таких технологий может стать использование цикла АТФ-АМФ. Использование цикла АТФ-АМФ дает возможность запастись уже выделившейся энергии без дополнительных энергозатрат. Концепция применения цикла АТФ-АМФ дает решение проблемы рационального использования низкопотенциального тепла в ходе ее запасаения в макроэргических связях, возникающих в процессе синтеза АМФ в АТФ.

В докладе представлен обзор существующих современных аккумуляторов с различными теплоаккумулирующими материалами и проведена оценка их эффективности накопления тепловой энергии.

### **Библиографический список**

1. **Аккумуляирование тепла** / Левенберг В.А., Ткач М.П., и др. Киев: Техника, 1991. 112 с.
2. **Основы биохимии**: В 3-х т. Т.2. Пер. с англ. / Ленинджер А. М.: Мир, 1985. 321 с.

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

## **РЕГЕНЕРАЦИЯ ИОНИТА В ФИЛЬТРАХ «БАРЬЕР»**

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

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

$2\text{NaR} + \text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{CaR}_2 + 2\text{Na}^+$ ;  $2\text{NaR} + \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{MgR}_2 + 2\text{Na}^+$ , где R–органический радикал.

Ресурс подобных картриджей приблизительно составляет 5-7 тысяч литров. Одним из самых доступных способов продления службы фильтра – это регенерация с помощью поваренной соли – хлорида натрия [2]. Процесс регенерации ионообменной смолы можно представить следующими процессами:



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

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

Регенерацию можно проводить много раз, но после каждого восстановления степень умягчения воды будет снижаться [3]. Когда смола перестанет восстанавливать свои первоначальные обменные свойства, картридж или загрузка фильтра подлежит замене на новый.

### **Библиографический список**

1. **Изменение физико-химических** и технологических характеристик ионообменных материалов в установках кондиционирования природных вод /Славянская Г.В., Куренкова О.В.// Сорбционные и хроматографические процессы. 2013 Т. 13 Вып. 3

2. **Алитдинова, Светлана Юрьевна**, Разработка безопасного способа применения ионообменных смол при водоподготовке в пищевой промышленности. Дисс. на соиск. к.х.н., 2005

3. **Славянская Г.В.**, Глянцев Н.И., Зяблов А.Н. Проблемы очистки воды для пищевой промышленности // XVI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: рефераты, докладов и сообщений. Москва. -1998.- Т. 3. С.235.

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

## **СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭС**

Система технического водоснабжения электростанций (СТВ) представляет собой сеть охлаждающих систем, работающих систем, работающих по циркуляционному принципу на технической неочищенной воде. Структурируется она по-разному, что зависит от конкретных условий строительства и поставленных задач [1].

Для прямоточной системы водоснабжения источником может служить озеро или море. В озере должно быть достаточное количество воды, и она должна быть проточной. При использовании морской воды должны предусматриваться мероприятия по защите оборудования от коррозии, в первую очередь конденсатора (электрохимическая защита, крепление трубок и т.д.).

Системы циркуляционного водоснабжения подразделяют на прямоточные, оборотные и смешанные. Выбор источника и системы водоснабжения зависит от количества воды, потребляемой в различное время года, минимального расхода воды в реке в тот же период времени и её температуры.

Так как уровень воды в разные сезоны может значительно отличаться, на многих станциях, работающих по прямоточному принципу, предусматривают и оборотную схему, которая включается в работу с маловодный период года. То есть, параллельно с водоёмом используют один из вариантов охладителей – брызгальную установку или градирню.

Для поддержания необходимого качества циркуляционной воды производят механическую очистку воды от посторонних примесей, снижение или поддержание заданной величины карбонатной жёсткости и борьбу с органическими загрязнениями.

При эксплуатации трубки конденсаторов забиваются накипью, илом, песком, мелкой рыбой, обрастают микроорганизмами. Поэтому периодически в зависимости от степени загрязнения и солевого состава воды производится очистка трубок конденсаторов механическим, физическим или химическим методом. Химическая очистка выполняется хлорированием и кислотной промывкой охлаждающей циркуляционной воды.

### **Библиографический список**

1. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие/ Под. общ. ред. В.С. Пономаренко. – М.: Энергоатомиздат: 1998. – 376 с.

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

## **ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕЧНОЙ ВОДЫ В ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ШАЧА)**

Экологическая безопасность крайне важна в жизни любого сообщества, поэтому проблемы экологии находятся в центре внимания человечества.

Цель данной работы – обозначить проблему загрязнения речной воды на территории Ивановской области (река Шача) и частично исследовать степень ее загрязнения в результате деятельности промышленного предприятия «МирТекс».

Данная проблема является актуальной, т.к. ущерб, наносимый загрязнением окружающей среды, огромен. Остро стоит вопрос сохранения растительного и животного мира реки, использования водоема в хозяйственно-бытовых целях, а также, как место отдыха.

Поводом для проведения исследований послужили жалобы граждан, проживающих в населенных пунктах, расположенных в районе протекания реки Шача (правый приток Волги), на резкое ухудшение качества речной воды и безопасности использования ее для бытовых нужд. К основным загрязнителям реки относится промышленное предприятие «МирТекс», осуществляющее свою деятельность (производство трикотажного и вязаного полотна), и работающее с 2014 г. без очистных сооружений.

Перед началом исследований была выдвинута гипотеза, что окрашивание речной воды в неестественные цвета свидетельствует об опасном ее загрязнении и наличии в воде вредных примесей.

Исследования проводились на базе Ивановского химико-технологического университета в ходе работы кружка «Химия и жизнь», а также школьной химической лаборатории за период: ноябрь 2019 г. – июнь 2020 г.

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

По результатам работы сделаны выводы о необходимости принятия адекватных мер, правильных решений по снижению или полному устранению вредных воздействий.

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

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕМНИЯ В СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЯХ**

В наше время достаточно остро стоит вопрос о переходе к использованию возобновляемых источников энергии вместо углеводородов. Проблема достаточно актуальна, т.к. дальнейшее применение органического топлива может привести к непоправимым последствиям в виде экологических катастроф. В ближайшем будущем видится переход к солнечным батареям в качестве основных источников энергии.

Одним из самых часто используемых материалов для изготовления фотоэлементов солнечных панелей является кремний. Широкое применение кремния обуславливается его распространенностью в земной коре.

Есть два основных вида кремниевых солнечных панелей: монокристаллические и поликристаллические.

Монокристаллические панели состоят из одного монокристалла кремния, получаемого в производственных условиях методом Чохральского. Солнечные батареи, состоящие из цельного кристалла, обладают наивысшими показателями КПД ( $\approx 18\%$ ) и самым долгим сроком использования [1].

Поликристаллические же солнечные панели, в свою очередь, экономичнее и проще в изготовлении, т.к. они собираются из отдельных кристаллических решеток полупроводника. Но при этом фотоэлементы из поликристалла кремния по сравнению с монокристаллическими характеризуются меньшим КПД ( $\approx 10 - 15\%$ ) и более коротким сроком эксплуатации [1].

По моему мнению, более выгодным является применение поликристаллических солнечных панелей из-за их более низкой стоимости. При этом есть возможность повысить КПД поликристаллических батарей, обеспечив стабильные условия эксплуатации. С этой целью, для достижения стабильного температурного режима в дополнение к естественному охлаждению можно создать «умную» систему вентиляции, которая будет определять температуру рабочей части батареи и приводить её к нормальным условиям.

### **Библиографический список**

1. **Нагаев Д.А.** Обзор современных солнечных панелей. // Вестник современных исследований. — 2018. — №6.3 (21). — С.530—534.

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

## **ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ ИВАНОВСКОЙ И КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

В ходе лабораторных исследований были получены показатели качества воды: щелочность и жесткость, образцов воды, взятых из природных источников Ивановской и Костромской области. Для исследования показателей были применены стандартные методики определения щелочности и жесткости воды.

Чистую смесь молекул  $H_2O$  в природе почти не встретишь, а под понятием воды подразумевают водный раствор минеральных и органических соединений. Общее количество и соотношение этих веществ определяет качество воды, ее токсичность и возможность применения в быту и для питья.

В ходе эксперимента были проведены исследования органолептических свойств образцов воды и показателей качества. Сделан вывод о пригодности применения для пищевых целей.

В таблице представлены сравнительные показатели исследуемых образцов воды.

**Таблица – показатели качества воды Ивановской и Костромской областей**

Наименование показателя	Вода из скважины (г. Иваново, р-н 13-я Березняковская)	Вода из колодца (Костромская обл. г. Нерехта, пер. Пушкина)	Вода из колодца (г. Кострома)
Щелочность Щ, моль/л	4,103	---	2,704
Жо, мг-экв/л	8,72	4,65	6,62
Ж <sub>Ca</sub>	6,94	3,14	2,40
Ж <sub>Mg</sub>	1,78	1,51	4,22

В соответствии с ГОСТ 31954-2012 показатель общей жесткости воды не должен превышать 7 мг-экв/л. Как видно из показаний таблицы вода из скважины г. Иваново имеет завышенный показатель по величине общей жесткости.

### **Библиографический список:**

1. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. (ВОЗ, ЕС, USEPA).
2. Алексеев, Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 756 с.

**СЕКЦИЯ 4**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Председатель –

д.т.н., доцент **Бушуев Е.Н.**

Секретарь –

к.т.н., доцент **Корочкина Е.Е.**



*А.Ж. Адылканова, докторант; А.Е. Мейірханова, магистрант;  
рук. О.А. Степанова, к.т.н., доцент  
(НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей)*

## ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИ ОЦЕНКЕ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Использование угля в качестве источника теплоты в Казахстане очень широкое, так как в Республике богатые запасы угля различного качества, а, следовательно, проведение работ по изучению эффективности работы котельного оборудования, работающего на твердом топливе остается актуальной задачей.

Поэтому целью исследования было поставлено провести эксергетический анализ котельного агрегата при сжигании угля слоевым способом и в пылевидном состоянии.

Эксергетический анализ довольно сложный и в практике применяется не так часто. Однако у данного анализа больше возможностей показать возможные пути энергосбережения [1].

Исследования проведены для следующих углей:

- Каражыринский (низшая теплота сгорания 18,0 МДж/кг);

- Карагандинский (низшая теплота сгорания 20,7 МДж/кг);

- Майкубенский (низшая теплота сгорания 16,7 МДж/кг).

КПД брутто котельного агрегата определяли по нормативному методу [2].

Полученные результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Значения эксергетического КПД**

Уголь	слоевое сжигание, %	пылевидное сжигание, %
Каражыринский	35,9	36,5
Карагандинский	36,9	37,5
Майкубенский	34,3	34,9

### Библиографический список

1. Энтальпийный и эксергетический анализ // Энергосбережение Сибири. Информационный ресурс URL: <https://kz.wildberries.ru/catalog/5679884/detail.aspx?targetUrl=AB> (дата обращения: 25.01.2021).

2. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н. В. Кузнецова и др., М.: «Энергия», 2011. - 296 с.

*Нурпаисова Г.С., магистрант, Каримжанова А.О., магистрант;  
рук. М.В. Ермоленко, к.т.н.  
(НАО «Университет имени Шакарима города Семей», г. Семей)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГЕНТОВ**

В настоящее время использование искусственного холода играет важную роль во всех отраслях промышленности. Поэтому изучение эффективности работы холодильных машин является важным для решения вопросов производства, экономики и экологии.

Холодильные машины работают по обратному циклу. Большое распространение получили парокompрессионные холодильные машины. В таких машинах рабочее тело – холодильный агент осуществляет циркуляцию по замкнутой траектории [1].

Целью исследования было рассмотрение эффективности работы одноступенчатой парокompрессионной холодильной машины, когда в качестве холодильного агента использовались аммиак, R600A, R717, R134, R32 для климатических условий Восточно-Казахстанской области. Для решения цели и постановки задач было проведено ранжирование проблем исследования – была установлена степень важности решаемых вопросов.

Расчет холодильной машины проводился в следующей последовательности: определение параметров в холодильных точках циклов; определение массовой холодопроизводительности; определение теплоты, отводимой от конденсатора; определение изоэнтропной работы цикла; определение массового расхода холодильного агента; определение изоэнтропной мощности; определение действительной объемной производительности компрессора; определение холодильного коэффициента [2]. В результате была построена номограмма, которая дает возможность определять оптимальные области работы при использовании различных холодильных агентов.

### **Библиографический список**

1. Виды холодильных машин // Торговое оборудование URL: <https://www.2531111.ru/blog/vidy-holodilnyh-mashin/> (дата обращения: 01.02.2021).
2. Бамбушек Е.М., Бухарин Н.Н., Герасимов Е.Д., под ред. Сакуна И.А. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин. Л.: Машиностроение, 1987. - 423 с.

*Н.Н. Умыржан, студ.; А.И. Мануленко, студ.; Т.Н. Умыржан, маг.срук. А.Б. Касымов, PhD(НАО «У им. Шакарима», г.Семей)*  
**К ВОПРОСУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОРИСТОГО  
МЕТАЛЛА В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ**

Создание эффективных теплообменников является одной из приоритетных задач во время проектирования систем теплоснабжения промышленных и жилых зданий. Как правило, ребристые поверхности используются для повышения эффективности теплообмена в теплообменных аппаратах.

Одним из перспективных способов увеличения интенсивности теплообмена является использование теплообменников различной конструкции из современных материалов в них, например пористых металлов [1,2]. Выбор пористых металлов для конструкций теплообменников зависит от режимов работы и области их применения. Этой тематике посвящены работы многих авторов [3,4].

Цель исследования – изучение и оценка интенсивности тепловой передачи в теплообменниках с использованием пористого металла.

Исследование проводилось с выявлением сильных и слабых сторон известных методов, а также возможностью их применения для анализа процессов, протекающих в теплообменных аппаратах с использованием пористых металлов.

Авторами были проанализированы необходимые начальные данные и условия, необходимые для целесообразного применения пористых металлов в теплообменном оборудовании.

**Библиографический список**

- 1. Горда В.П., Кострубов С.В.** Пористо-компактный теплообменник. Патент РФ на изобретение №2001374. 15.10.1993. Бюл. №37-38. Доступно по: <https://patentdb.ru/patent/2001374.html>.
- 2. Хохлов М.А., Ищенко Д.А.** Конструкционные сверхлегкие пористые металлы // Автоматическая сварка. 2015. №3-4. С. 60-65.
- 3. Рыдалина Н.В., Аксенов Б.Г., Степанов О.А., Антонова Е.О.** Применение пористых материалов в теплообменных аппаратах системы теплоснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 3 С. 3-13. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-3-3-13.
- 4. John L., James F., Richard P.** Porous plate condenser. Patent US. №3394756. 05.01.1976. Available at: <http://www.freepatentsonline.com/3394756.pdf.html>. Accessed to: 20 avg 2019

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

## **РЕШЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕОБХОДИМОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ**

Создание оптимальных условий является необходимым элементом для устойчивой и эффективной работы производственного оборудования. В данной работе решалась производственная задача в части охлаждения электрогенератора ВПЧ-100-8000.

Вращающиеся преобразователи частоты (ВПЧ) представляют собой электронные статические устройства для преобразования трехфазного переменного тока частотой 50 Гц в однофазный частотой 8000 Гц. ВПЧ питают установки, осуществляющие индукционный нагрев, плавку, закалку и другие технологические операции по термообработке, связанные с применением токов повышенной частоты. Охлаждение агрегата осуществляется проточной водой, охлаждающей воздух, циркулирующий внутри корпуса машины.

Цель работы состоит в обеспечении необходимой температуры воды на входе в охлаждающую рубашку электрогенератора в летнее время, когда температура окружающей среды недостаточно низкая для необходимого охлаждения воды. Для выполнения поставленной цели было принято решение по внедрению в холодильную установку старых кондиционеров, работающих на хладагенте R22.

При заданном расходе воды и известной температуре на выходе из охлаждающего контура проводились расчёты теплопередачи в испарителе между водой и хладагентом R22. По известным критериальным уравнениям были найдены коэффициенты теплоотдачи для случаев теплоотдачи от воды к стенке при вынужденной конвекции и теплоотдачи при кипении хладагента R22 [1]. Далее был вычислен линейный коэффициент теплопередачи и значение температурного напора. Подобный алгоритм расчёта был применён и для расчёта конденсатора холодильной установки.

В результате были определены значения необходимой площади поверхности теплообмена и расхода хладагента. При их анализе был сделан вывод о возможности использования кондиционеров.

### **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.

*Е.А. Гадалова, И.И. Светушков, студ.;  
рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

При проектировании и эксплуатации теплообменного оборудования встает вопрос об эффективности его работы, которую характеризуют специальными показателями или критериями эффективности.

К одной из групп критериев эффективности относят критерии, характеризующие оптимальное соотношение тепловой мощности рекуператора  $Q$  и механической мощности  $N$ , затраченной на транспорт теплоносителей. Для характеристики этого соотношения академик М.В. Кирпичев в сороковых годах прошлого века предложил энергетический коэффициент:

$$E = \frac{Q}{N}. \quad (1)$$

Однако оптимизация теплообменника по максимуму энергетического коэффициента оказалась не востребована, потому что отсутствует однозначная зависимость этого коэффициента от теплового (уровня температур) и гидродинамического (скорости и гидравлического сопротивления) режимов работы теплообменного аппарата.

Академик М.А. Михеев указал, что для оценки эффективности теплообменника необходимо учитывать капитальные и эксплуатационные затраты работы аппарата [1]. Поэтому для сравнения эффективности режимных и конструктивных параметров теплообменников предлагается использовать энерго-экономический критерий:

$$E_{\text{эк}} = \frac{Z_Q}{Z_N} \cdot E, \quad (2)$$

где  $Z_Q$  – затраты на получение тепловой энергии (мощности), руб/Вт;  
 $Z_N$  – затраты на получение электрической энергии (мощности), руб/Вт.

На примере расчета кожухотрубного теплообменника выполнен анализ применения энергетического коэффициента и энерго-экономического критерия для оценки эффективности аппарата.

### Библиографический список

1. **Михеев М.А.** Основы теплопередачи: Учебник для энергетических и электротехнических вузов и факультетов, ГЭИ, М-Л.: 1956– 390 с.

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

## ПОСТРОЕНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

Фазовые диаграммы воды и водяного пара используются для иллюстрации и анализа различных теплотехнических процессов и циклов. Наиболее часто используют  $p,v$ -,  $T,s$ - и  $h,s$ - диаграммы. В данной работе разработаны алгоритмы построения фазовых диаграмм с использованием современных графических программ Microsoft Excel и MathCad Prime.

Исходные данные для построения фазовых диаграмм берут из таблиц теплофизических свойств воды и водяного пара. На диаграммах изображают пограничные кривые воды в состоянии насыщения ( $x = 0$ ) и сухого насыщенного пара ( $x = 1$ ). Далее в зависимости от задания строят изобару, изохору, изотерму или адиабату. При этом фиксируют изолиниями точки начала и конца процесса.

На рис. 1 показана  $T,s$ -диаграмма построенная в среде Microsoft Excel. На диаграмме изображены пограничные кривые  $x=0$  и  $x=1$ , а также изобары  $p = 1$  кПа,  $p = 2$  МПа,  $p = 100$  МПа.

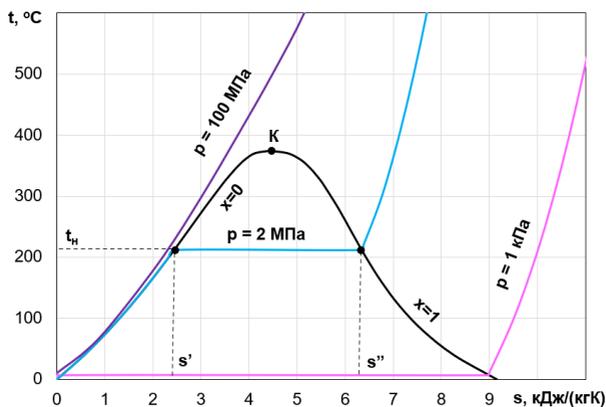


Рис. 1.  $T,s$ -диаграмма воды и водяного пара

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

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

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ТЕРМОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Термоэлектрические генераторы (ТЭГ) позволяют преобразовывать тепловую энергию непосредственно в электрическую. В настоящее время ТЭГ применяют в основном там, где получение электрической энергии другими способами невозможно – это обеспечение автономного питания космических аппаратов, питание оборудования газо- и нефтепроводов, бытовых устройств и т.п. В качестве источника тепловой энергии для ТЭГ допускается использовать практически любые теплоотдающие поверхности, в том числе поверхности различных печей, отопительных котлов, трубопроводов отопления и горячего водоснабжения. Существенным недостатком ТЭГ остается низкий коэффициент эффективности преобразования теплового потока в электрическую энергию (КПД) – от 2 до 8 %.

В данной работе выполнен расчёт коэффициента полезного действия ТЭГ в зависимости от перепада температур между горячей и холодной сторонами. В качестве исходных данных приняты результаты экспериментального исследования термоэлектрического генераторного модуля ТГМ-199-1,4-3,5 [1]. Результаты расчёта представлены на рис. 1.

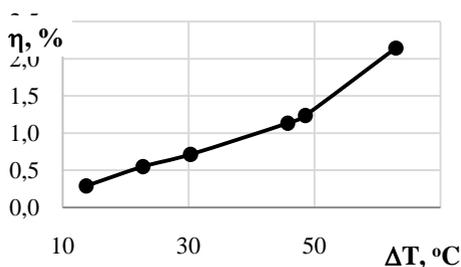


Рис. 1. Зависимость КПД термоэлектродгенератора от перепада температур

Как видно из рис. 1, коэффициент полезного действия ТЭГ существенно зависит от перепада температур между горячей и холодной стороной. Для исследуемого образца изменение КПД составило от 0,3 до 2 %.

### Библиографический список

1. Шостаковский П. Современные термоэлектрические источники питания электронных устройств // Компоненты и технологии. – 2015. – № 1. – С. 14-19.

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

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Решение задачи моделирования температурного поля кристалла управляющего процессора РЭА основано на реализации метода контрольного объёма. Суть этого метода состоит в том, что исследуемое тело разбивается на несколько объёмов. Совокупность температур всех объёмов и представляет температурное поле объекта в каждый данный момент времени [1]. Для решения поставленной задачи был разработан программный продукт с визуальным интерфейсом, реализующий метод контрольного объёма в системе разработки VisualStudioBasic 2008.

Для проверки адекватности проводимых данным программным продуктом расчётов, был реализован еще один программный продукт по методу локально-одномерной схемы. Этот продукт был реализован в системе Forge 2.0 в консольном интерфейсе.

Результаты расчета приведены на рис. 1.

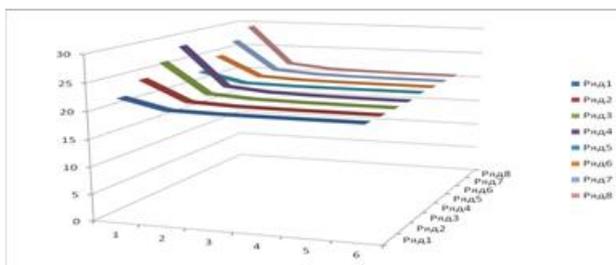


Рис. 1. Поле температур кристалла:

1-4 ряд – программы по методу контрольного объёма; 5-8 – программы по методу локально-одномерной схемы

Как видно из результатов расчетов, полученных по обеим программам, погрешность вычислений не превышают 5%.

### Библиографический список

1. Рихтмайер Р. Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. –М.: Издательство Мир. 1972. –380с.

*И.А. Кокулин, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **ЗЕРКАЛА КОЗЫРЕВА. МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?**

Николай Александрович Козырев родился 2 сентября 1908 г. в г. Санкт-Петербурге. После окончания астрономического отделения физико-математического факультета Ленинградского университета в 1928 г. был принят аспирантом в Главную астрономическую обсерваторию СССР в Пулкове. 7 ноября 1936 г. Н.А. Козырев был арестован, а 25 мая 1937 г. был незаконно осуждён в связи с «Пулковским делом». Спустя 9 лет освобождён условно-досрочно, а 21 февраля 1958 г. полностью оправдан.

Главным научным открытием А.Н. Козырева является разработка теории «причинной механики». Согласно этой теории – время выражается в причинно-следственных связях. Они всегда отделены друг от друга в пространстве и не зависят от системы координат. Онутверждал, что время – это особый вид энергии. То есть энергия времени питает звёзды – и поэтому ядерный синтез внутри звезд никогда не прекращается.

При изучении течения времени, основываясь на работах, А. Эйнштейна и Г. Минковского, из которых следует, что гравитация есть искажение пространства, а время – одна из характеристик искажения пространства, А.Н. Козыревразвил теорию известных ученых и предположил, что можно создать концентраторы времени. Ученики А.Н. Козырева под руководством академика В.П. Казначеева создали такие устройства, которые называли «зеркала Козырева». Они представляют собой специальную систему вогнутых алюминиевых зеркал. Согласно гипотезе, предложенной Н.А. Козыревым, эти зеркала должны фокусировать различные виды излучений от биологических объектов, в том числе потоки энергии-времени.

Исследования, проводившиеся уже после смерти А.Н. Козырева академиком РАМН В.П. Казначеевым выявили возможность человеческого разума получать информацию независимо от географии и времени. Ученые до сих пор пытаются разгадать секреты теории времени-энергии, которую предложил наш великий соотечественник Н.А. Козырев.

Современная официальная наука не признает теорию А.Н. Козырева и считает ее лженаукой. Однако теория энергии-времени не была ни доказана и ни опровергнута, поэтому имеет право на существование.

### **Библиографический список**

1. **Козырев Николай Александрович** Незвезданный мир. «Октябрь», 1964, №7. С. 183-192.
2. **Трофимов, А.В.** Зеркала в голографической вселенной Козырева. История, результаты, перспективы, монография/А.В. Трофимов – СПб: Русское космическое общество, 2018. - 80 с.

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА

В работе рассматривается применение метода регулярного режима для определения коэффициента теплоотдачи при свободной и вынужденной конвекции воздуха у поверхности вертикального цилиндра.

Метод предполагает экспериментальное исследование нестационарного процесса теплопроводности. При этом графически представляют изменение во времени безразмерной или избыточной температуры исследуемого объекта (рис. 1) и выполняют расчет темпа регулярного режима [1]:

$$m = \frac{\ln \theta'''_1 - \ln \theta'''_2}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (1)$$

где  $\theta'''_1$  и  $\theta'''_2$  – избыточная температура тела в моменты времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$ .

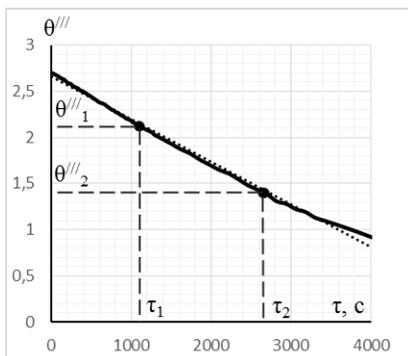


Рис. 1. К определению темпа регулярного режима

результатами расчета по известным критериальным уравнениям. Погрешность расчета составила от 10 % до 25 %.

Коэффициент теплоотдачи для термически тонкого тела рассчитывают по формуле [1]:

$$\alpha = \frac{mc'R}{k}, \quad (2)$$

где  $R$  – размер расчетной области объекта,  $m$ ;  $c'$  – удельная объемная теплоемкость образца, Дж/(м<sup>3</sup>·°C);  $k$  – коэффициент формы тела ( $k = 2$  для неограниченного цилиндра).

Экспериментальное значение коэффициента конвективной теплоотдачи сравнивалось с критериальным уравнениям.

### Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Пророкова М.В., Солнышкова Ю.С. Определение коэффициента теплоотдачи твердого тела методом регулярного режима: метод. материалы для выполнения лаб. работ // ИГЭУ. 2014. 16 с.

С.А. Павлычев, студ.; рук. В.В. Бухмиров, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ЗАКОН ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОТКРЫЛ БИО ИЛИ ФУРЬЕ?

Два великих французских ученых Жан-Батист Жозеф Фурье (21.03.1768 – 16.05.1830) и Жан-Батист Био (21.04.1774 – 3.02.1862) были современниками Великой Французской революции, правления Наполеона и Людовика XVIII, поэтому изменчивая политическая атмосфера во Франции того времени без сомнения влияла на их личную жизнь и научную деятельность. Био был в заключении за студенческие волнения 1795 года, а Фурье дважды подвергался репрессиям и даже был приговорен к смертной казни в том же 1795 году, Обоих молодых ученых спас их учитель и покровитель великий геометр Гаспар Монж. С сентября 1795 года Фурье преподавал, а Био в это время учился в Политехнической школе в Париже, где они очевидно и познакомились лично. Отметим, что в 1797 произошла встреча учеников и преподавателей Политехнической школы с известным тогда генералом Наполеоном (ещё не императором), которая заметно повлияла на научную карьеру и жизненную судьбу Био и Фурье.

В 1807 году Фурье сделал доклад на математическом отделении Французской академии наук о своей теории распространения теплоты, которую потом обобщил в своей самой известной монографии «Аналитическая теория теплоты», опубликованной в 1822 году [1]. Однако Био ранее в 1804 году уже выпустил статью, в которой утверждал, что перенос теплоты надо рассматривать не в конкретной точке тела, а для твердого тела в целом [2]. Эту идею и развил Фурье, предложив закон для переноса теплоты, который в его обозначениях, например для оси  $Ox$ , имеет вид  $-K(dv/dx)\omega dt$ , где  $K$  – коэффициент проводимости тела (коэффициент теплопроводности);  $dv/dx$  – температурный градиент;  $\omega$  – площадь;  $dt$  – элементарный промежуток времени.

Так кто открыл закон теплопроводности? Био высказал гипотезу теплопроводности, а Фурье предложил математическую формулировку этого процесса, поэтому в знак уважения к обоим ученым мы считаем, что закон теплопроводности должен называться законом Био-Фурье.

### Библиографический список

1. **Fourier J.** Théorie Analytique de la Chaleur. «Chez Firmin Didot, père et fils», 1822. 638 с.
2. **Herivel J.** Joseph Fourier. The Man and the Physicist, «Oxford», 1975. 350 с.

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

## **ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

В настоящее время в целях энергосбережения достаточно широко применяются тонкоплёночные теплоизоляционные покрытия (ТПП), состоящие из полых микросфер, расположенных в связующем материале, которые обладают свойствами красок, но с меньшим значением коэффициента теплопроводности. На основе анализа данных, опубликованных в научно-технической литературе, были выявлены и систематизированы области и объекты, где достаточно эффективно может применяться тонкоплёночная тепловая изоляция. Наиболее рациональным применением ТПП является использование их в качестве тепловой изоляции объектов сложной геометрической формы (заводские здания, краны, фланцы, переходы и т.п.), а также труднодоступных и стеснённых мест. Хотя ТПП не является достаточно эффективным самостоятельным теплоизоляционным материалом [1], однако их можно использовать для тепловой изоляции теплоэнергетического оборудования (котлы, печи, теплообменники), криогенного оборудования (сосуды Дьюара, холодопроводы, дроссели), в строительстве (утепление сопряжений монолитных перекрытий, тепловая изоляция стальных элементов при их заделке в ограждающие конструкции для исключения «мостиков холода»), утепление помещений с повышенной влажностью), на всех видах транспорта (утепление вагонов, цистерн, танков, контейнеров, кунгов, кабин, фюзеляжей и т.д.). Также существенным достоинством ТПП является их устойчивость к воздействию воды [2].

Ещё одним перспективным направлением использования ТПП является их применение в качестве защиты персонала от ожогов при кратковременном контакте с поверхностью элементов оборудования, которые нельзя теплоизолировать традиционными теплоизоляционными материалами.

### **Библиографический список**

1. **Бухмиров, В.В.** Применение тонкоплёночных покрытий в целях энергосбережения // Вестник ИГЭУ: Журнал. – Иваново: ООО «ПресСто». – 2015. - №5. – с. 26-31
2. **Бухмиров, В.В.** Использование энергосберегающей краски для уменьшения потерь тепловой энергии при транспорте теплоносителя // Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVIII Бенардосовские чтения). – Иваново: ФГБОУ ВПО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2015. Т. 2. – 125-129 с.

*А.А. Садчиков, студ.;  
рук. Бухмиров В.В., д.т.н., проф.; Родионова М.В., к.т.н.  
(ОГУ, г. Оренбург; ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ**

Современное состояние науки и техники позволяет при получении энергии наряду с традиционными источниками использовать альтернативные с большей энергоэффективностью, например, энергию биомассы [1]. Биогазовые установки позволяют решить две важные задачи: во-первых, биогазовые технологии являются инструментом переработки биоотходов, а этот факт в некоторых странах закреплен на законодательном уровне в виде стандартов, и, во-вторых, данная технология предполагает получение энергоресурса из возобновляемого практически неисчерпаемого источника.

При производстве биогаза предварительно подготовленные биоотходы помещаются в герметично закрытую емкость – биореактор (метантенк), в котором при определенных условиях происходит сбраживание органической массы с образованием биогаза и биоудобрений (эффлюента).

Расчет процесса получения биогаза в метантенке является сопряженной задачей теплообмена (расчета поля температур, поля скоростей и давлений), массообмена (расчета поля концентрации жидкой и твердой фаз) и биохимических процессов (расчет выхода биогаза и его состава при данных параметрах тепломассообмена).

Анализ используемых подходов к математическому описанию процессов в биореакторе показал, что в настоящее время универсальная математическая модель метантенка не получена из-за большого числа факторов, влияющих на режим работы биореактора. В разработанных в настоящее время математических моделях связь между параметрами тепломассообмена и биохимическими процессами нельзя признать однозначной.

**Вывод.** При математическом процесса получения биогаза «узким» местом является сопряжение чисто физических процессов теплообмена и массообмена с биохимическими процессами жизнедеятельности микроорганизмов, в результате которых и выделяется горючий газ. Точность математического моделирования определяется достоверностью решения данной задачи.

### **Библиографический список**

1. Егорова М.С. Развитие возобновляемых источников энергии // Вестник науки Сибири. 2013. № 3 (9). С. 146-150

*И.И. Светушков, Е.А. Гадалова, студ.;  
рук. А.К. Гаськов, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Целью энергетического обследования зданий является получение объективных данных об объёме используемых энергетических ресурсов, определение показателей их энергетической эффективности и определение потенциала энергосбережения, реализация которого позволит оптимизировать структуру их энергопотребления [1]. В 2020 г. студенты и сотрудники ИГЭУ выполнили энергоаудит 19 административных зданий одного из населённых пунктов в Тюменской области. В результате тепловизионного обследования ограждающих конструкций и теплового оборудования при помощи тепловизора Testo-882 были выявлены характерные практически для всех зданий проблемы, такие как повышенные потери тепловой энергии через откосы окон из-за их некачественного монтажа и значительные потери тепла через полы, которые связаны с технологией постройки зданий на мёрзлых грунтах. Обследование системы электроснабжения здания при помощи анализатора качества и количества электрической энергии CircutorAR-6 показало, что по всем параметрам она соответствует нормативным значениям. Измерения параметров микроклимата при помощи метеометра МЭС-200А позволили выявить наличие эффекта «перетопа» и низкую относительную влажность воздуха в помещениях зданий. «Перетоп», как правило, обусловлен отсутствием регулирования температуры сетевой воды в системе отопления. В результате анализа документации по потреблению энергетических ресурсов были составлены балансы их потребления.

По результатам энергетического обследования составлены отчёты и энергетические паспорта 19 административных зданий согласно нормативным требованиям [2].

Выводы. Выполнен энергоаудит административных зданий в Тюменской области, который выявил проблемы при их энергообеспечении. Предложены к реализации ряд энергосберегающих мероприятий, внедрение которых позволит повысить энергетическую эффективность обследованных зданий.

### **Библиографический список**

1. **Федеральный закон** от 23.11.2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении...»
2. **Приказ** Минэкономразвития РФ от 25.05.2020 г. №310 «Об утверждении требований к проведению энергетического обследования...»

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

## ЭНТРОПИЯ, ЧТО ЭТО?

**Энтропíя** в переводе с греческого – «обращение; превращение». Понятие энтропии впервые было введено Клаузиусом в рамках технической термодинамики в 1865 году как функция состояния (интеграл Клаузиуса  $\Delta S = \int \delta Q/T$ ) термодинамической системы.

Понятие энтропии, а точнее ее изменение, имеет очень широкую область применения, как в технической термодинамике, так и в других науках: физике, химии, математике, социологии и др.

В технической термодинамике энтропия и ее изменение тесно связано с понятием теплоты. После введения этого понятия появилось универсальное расчетное выражение теплоты для любого процесса

$$\delta q = T ds,$$

что позволяет трактовать энтропию как некую координату перемещения под действием силы в виде абсолютной температуры при совершении тепловой работы (теплоты).

Более широкий аспект трактовки изменения энтропии связан с вторым законом термодинамики. Здесь изменение энтропии системы характеризует вероятностное состояние замкнутой изолированной системы. В этом случае изменение энтропии системы указывает на направление протекания процесса. Так, если система находится в неравновесном состоянии, то процессы в ней будут идти в направлении увеличения энтропии системы и завершаться (система достигнет равновесного состояния) при достижении максимального значения изменения энтропии системы. Важное значение изменения энтропии системы связано с оценкой необратимости реальных процессов и потенциальной возможности получения полезной работы в неравновесной системе. В этих аспектах использование энтропии системы позволяет дать количественную оценку второго закона термодинамики.

Вероятностный аспект энтропии позаимствовали математики в теории вероятности, а за ними социологи и другие общественные науки. Однако надо иметь в виду, что эта энтропия никакого отношения не имеет к технической термодинамике.

В данной работе приведены основные аспекты практического применения энтропии в процессах теплоэнергетических установок.

### Библиографический список

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

*Н.В. Фроловстуд.; рук. И.М. Чухин к.т.н., доц.  
(ИГЭУ г. Иваново)*

## **ЭНТАЛЬПИЯ, ЗАЧЕМ ЕЕ ПРИДУМАЛИ?**

**Энтальпия** от греческого *enthalpō* – нагреваю. Формулу и значение энтальпии  $h = u + pv$  как функцию состояния привёл в 1909 г. Нидерландский учёный физик Хейке Камерлинг-Оннес. Впервые расчетное выражение  $u + pv$  предложил американский физик и химик Джозайя Уиллард Гиббс в 1876 году в научной работе «О равновесии гетерогенных веществ» – но тогда он называл её «тепловой функцией при постоянном давлении».

Физическая трактовка понятия энтальпии может иметь несколько аспектов, в зависимости от области ее использования:

в технической термодинамике энтальпия – это энергия расширенной системы равная сумме внутренней энергии газа (жидкости) и потенциальной энергии давления;

энтальпия – это свойство вещества, характеризующее уровень энергии, сохраненной в его молекулярной структуре. Это значит, что вещество, обладая энергией обусловленную его температурой и давлением, не всю ее может преобразовать в теплоту. Часть внутренней энергии всегда остается в веществе и поддерживает его молекулярную структуру. Часть кинетической энергии вещества недоступна, когда его температура приближается к температуре окружающей среды. Следовательно, энтальпия – это количество энергии, которая доступна для преобразования в теплоту (теплосодержание) при определенной температуре и давлении;

в химической термодинамике энтальпия – количество теплоты, которое выделяется или поглощается в химических реакциях или при образовании сложного вещества из простых веществ при постоянном давлении.

В данной работе приведены основные аспекты практического применения энтальпии. В технической термодинамике энтальпия не только упрощает расчеты теплоты в изобарных процессах, но и расчет работы такого энергетического оборудования, как турбины, компрессоры, насосы, сопловые каналы, диффузоры и т.д. Кроме этого анализ процессов дросселирования – эффект Джоуля-Томсона невозможен без энтальпии. В химической термодинамике – тепловые эффекты многих химических реакций рассчитываются с использованием энтальпии.

### **Библиографический список**

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

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

## РАЗРАБОТКА ЗАМКНУТОЙ ЖИДКОСТНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ КАЛАНДРОВОЙ ЛИНИИ

Каландры в настоящее время широко используются для переработки термопластов, в основном мягкого ПВХ. Пластифицированная термопластичная масса транспортной лентой подается к каландру, равномерно распределяется по длине первого межвалкового зазора каландра, откуда подхватывается последующими валками и проходит через второй и третий межвалковые зазоры. По сигналам, поступающим с контрольно-измерительных приборов, непрерывно фиксируются толщина и площадь поверхности ленты материала. Величина межвалкового зазора может быть установлена автоматически или же ручным способом [1]. Существует множество вариантов возможности охлаждения. В данной работе рассматривается водо-замкнутая система. Её главные преимущества – отсутствие потребности в водоотведении и меньшие затраты электроэнергии. Существует множество компаний занимающихся производством таких водоохлаждающих установок, например водоохлаждающей установки производства фирмы «Норд Аква Т».



Рис. 1. Схема системы охлаждения каландровой линии

Разработана нами схема установки охлаждения (рис.1). Определены составные части этой системы, подобрано оборудование для неё. По сравнению с системами, оборотного водоснабжения, некоторых компаний, специализирующихся на их производстве [1], собранная нами водоохлаждающая установка не уступает по характеристикам, но будет стоить дешевле.

### Библиографический список

1. Бельцов В.М. Оборудование текстильных отделочных предприятий: Учеб. для вузов. 2-ое изд. –СПб, 2000, 568 с.



**СЕКЦИЯ 5**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

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

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



*В.Д. Ванюшкин, соиск.; рук. С.К. Попов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПИРОЛИЗЕ ОТХОДОВ ШИН**

Утилизация отходов автомобильных шин – актуальная задача. Одним из путей решения является низкотемпературный пиролиз в непрерывно работающей установке с получением товарных продуктов – жидкой фракции и твердого коксового остатка. Охлаждение выгружаемого коксового остатка в таких установках может стать фактором, ограничивающим весь технологический процесс. Экспериментально установлено выгорание мелкодисперсного коксового остатка при его охлаждении с начальной температуры 600 °С и выше [1]. Необходим поиск и исследование вариантов охлаждения, исключающих выгорание и таким образом обеспечивающих ресурсосберегающий эффект – рост удельного выхода коксового остатка.

С этой целью ведется разработка конструкции теплообменника-охладителя коксового остатка. Выбран вариант перемещения мелкодисперсного материала посредством вибрации. Анализ информации по вибрационной технике позволил выявить аналог: вибрационный конвейер с центробежным виброприводом направленного действия. Основными его достоинствами являются простота конструкции, практически полное отсутствие трущихся и быстроизнашивающихся деталей, невысокая энергоёмкость. Выбранная конструкция может быть использована для перемещения горячих дисперсных сред и дает возможность установки охлаждающей рубашки. Конвейер состоит из рабочего органа, центробежного вибровозбудителя, рабочей упругой системы и вспомогательных или виброизолирующих пружин [2].

Сформирована конструктивная схема, разработана и реализована трехмерная математическая модель теплообменника-охладителя.

Выполнено расчетное исследование влияния режимных и конструктивных параметров теплообменника на величину снижения температуры коксового остатка. Полученные результаты могут быть использованы при разработке теплообменника в составе ресурсосберегающей пиролизной установки.

### **Библиографический список**

1. **Ванюшкин В.Д.** Экспериментальное исследование процесса охлаждения продуктов пиролиза отходов шин / В.Д. Ванюшкин, С.К. Попов, И.Н. Свистунов // Инженерно-физический журнал. 2020, Т. 93, № 2 (март-апрель). С. 398–402.
2. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. 1981. 509 с.

*А.Р. Галимова, А.Р. Зарипов, А.О. Маясова студенты.;  
рук-ли. О.С. Попкова, к.т.н., доц., (КГЭУ, г. Казань),  
И.Н. Мадыев, к.т.н., доц. (КНИТУ, г. Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ С ПОКРАСОЧНЫМИ КАМЕРАМИ**

Одной из наиболее важных задач предприятий с покрасочными камерами является очистка газовых потоков с высокой степенью эффективности. Для решения данной задачи предприятия с покрасочными камерами используют системы пылеочистки, которые включают группу аппаратов[1]. Однако, их основным недостатком является быстрая изнашиваемость фильтров тонкой очистки, вследствие забивки пылью.

На основании полученных формул и зависимостей была разработана инженерная методика прямоугольного сепаратора для улавливания мелкодисперсных частиц пыли[2-3]. Использование численного моделирования позволило воспроизвести процесс сепарации частиц из газовых потоков с учетом ряда требований предприятий, использующих покрасочные камеры, таких как: объемный расход запущенного потока, степень очистки и др. Были исследованы различные способы по интенсификации процессов сепарации частиц из газовых потоков в прямоугольном сепараторе[4]. В ходе работы было выявлено, что эффективность сепаратора составляет около 99 – 99,9 %.

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

### **Библиографический список**

1. **Зиунов В.Э., Дмитриев А.В., Мубаракшина Р.Р.** Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья // Ползуновский вестник.– 2020. – № 2. – С. 18-22.
2. **Зиунов В.Э., Дмитриев А.В., Петрова Т.С., Дмитриева О.С.** Оценка времени работы пылеуловителя со скругленными сепарационными элементами // Вестник Иркутского государственного технического университета. –2020. – Т. 24. – № 3. – С. 606-615.
3. **Дмитриев А.В., Зиунов В.Э., Дмитриева О.С., Ву Линь Нгуен** Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. –2020. – Т. 22. – № 1. – С. 3-9.
4. **Зиунов В.Э., Дмитриев А.В., Соловьева О.В., Латыпов Д.Н.** Исследование изменения эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью// Вестник технологического университета. –2019. – Т.22. – №8. – С.42-46.

*В.Э. Зинуров асп.; И.В. Петрова студ.;  
рук. А.В. Дмитриев, д.т.н., доц.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КЛАССИФИКАТОРА С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ**

На сегодняшний день во многих сферах промышленности встает задача фракционирования мелкодисперсного порошка. Классическими аппаратами для фракционирования являются центробежные, гравитационные и ситовые. Однако, их селективность низкая [1 – 3].

Авторами работы был разработан классификатор (рис. 1). В докладе представлены численные исследования фракционирования мелкодисперсного порошка в разработанном классификаторе.

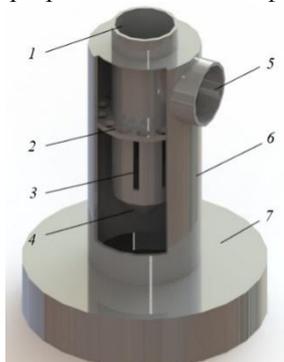


Рисунок 1 – Классификатор: 1 – входной патрубок, 2 – экран с соосно расположенными трубами, 3 – прямоугольные отверстия, 4 – дополнительное отверстие, 5 – выходной патрубок, 6 – корпус устройства, 7 – бункер

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

### **Библиографический список**

1. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Мубаракшина Р.Р. Повышение эффективности аспирационных систем при обработке крахмалистого сырья // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 18-22.

2. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С. Улавливание мелкодисперсных капель из газового потока в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами // Промышленная энергетика. 2020. № 12. С. 47-53.

3. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Нгуен В.Л. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 1. С. 3-9.

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАГРУЖЕНИИ ДАВЛЕНИЕМ

В работе построена конечно-элементная модель участка трубы длиной 1500 мм, внешним диаметром трубы 300 мм, внутренним – 270 мм и с разными толщинами отложений – 5 мм, 10 мм, 20 мм, 30 мм, 50 мм; по обе стороны от трубы смоделированы два фланцевых соединения с внешним диаметром 400 мм, внутренним – 270 мм и длиной 50 мм. Фланцевые соединения служили опорными точками всей конструкции. Для определения изменения частот собственных колебаний трубопровода при нагружении давлением (0,2 и 0,5 МПа), было смоделировано воздействие среды на внутреннюю стенку трубопровода и осуществлен анализ структурно-жидкостного взаимодействия в ANSYS [1].

Анализ результатов показал, что частоты моделей с дефектами возрастают с увеличением давления жидкости, а у бездефектных практически не меняются (Рис. 1) [2]. Причем у труб с дефектами интенсивнее возрастают частоты в дефектной области, принятой на основе анализа расчета пластин.

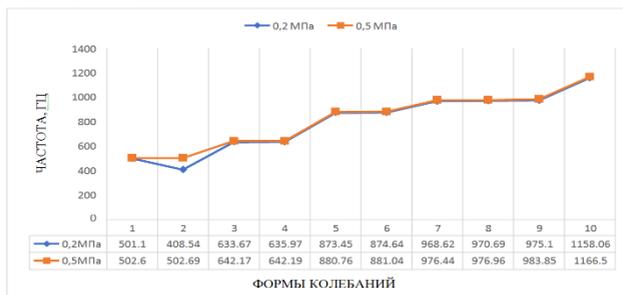


Рис. 1. Диаграмма изменения частот трубопровода в зависимости от создаваемого в нем давления

### Библиографический список

1. Измайлова Е.В., Гарнышова Е.В., Соловьев Д.В. Конечно-элементное моделирование системы акустического контроля теплообменников / Сборник Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. «Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии». – Альметьевск: АГНИ, 2018. С. 436-439.

*С.А. Керимбекова, асп.; Р.С. Волков, соиск.;  
рук. П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., проф.  
(ТПУ, г. Томск)*

## **ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КАПЕЛЬ В АЭРОЗОЛЬНОМ ОБЛАКЕ НА СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ**

Результаты экспериментальных и теоретических исследований процессов испарения капель в газовой среде с различной концентрацией жидкой и газовой фаз имеют большое практическое применение [1].

Для проведения экспериментов использован стенд, аналогичный применяемому в [1, 2], но отличающийся тем, что в стенд дополнительно оснащен системой регистрации времени движения капель через высокотемпературную газовую среду. Варьируемые параметры: начальный радиус капель 0.1–0.25 мм, температура продуктов сгорания 573–873 К, концентрация капель воды 0.03–0.1 1/м<sup>3</sup>. Для регистрации размеров капель ( $R_d$ ) аэрозоля применялся оптический метод «Shadow Photography» [1, 2]. Погрешности определения  $R_d$  не превышали 1.5 %.

Проведенные эксперименты показали, что скорости прогрева и испарения капель воды, как элементов аэрозоля, в высокотемпературной газовой среде главным образом зависят от концентрации, начальных размеров капель и подведенного теплового потока. При варьировании этих параметров можно обеспечить условия интенсивного испарения капель воды. По результатам обработки опытов получена группа аппроксимационных выражений. Полученные математические выражения позволяют выполнять прогнозирование интенсивности испарения аэрозольных облаков, что является крайне полезным, как для экспериментальных исследований и математического моделирования рассматриваемых процессов [1, 2], так и для перспективных газопарокапельных приложений.

### **Библиографический список**

1. Войтков И.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Определение температуры газов при прохождении через них водного аэрозоля // Письма в журнал технической физики. 2017. № 6. С.48.
2. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A., Volkov R.S., Vysokomornaya O.V. Integral characteristics of water droplet evaporation in high-temperature combustion products of typical flammable liquids using SP and IPI methods // International Journal of Thermal Sciences. 2016. V. 108. P. 218-234.

*А.И. Кокунин, студ.; рук И.В. Евгеньев, к.т.н., доц.  
(КГЭУ, Казань)*

## **РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ МНОГОКВАРТИРНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

Целью современных разработок является повышение эффективности работы данной системы вентиляции. Вентиляция обеспечивает тепловой баланс. Это актуально для панельных домов старой постройки, где ограждающие конструкции изготавливались из материалов с высокой теплопроводностью. Современные кирпичные и панельные строения состоят из качественных конструкций, обеспечивающий низкий коэффициент теплопроводности и совершенно другой баланс температур.

Для современных многоквартирных домов обычно устанавливают многофункциональные крышные вентиляторы со специальными шахтами для размещения вентиляционного оборудования индивидуального пользования или готовые современные системы механической и естественной вентиляции.

Существует несколько способов стабилизации работы вытяжной системы жилых зданий, не приводящих к значительному увеличению капитальных расходов при их устройстве и требующих минимальных затрат при эксплуатации:

1. Использование ветрового побуждения естественной вентиляции (дефлекторы);
2. Использование сочетания естественного и механического побуждения (гибридные системы вентиляции);
3. Использование вентиляции «по потребности» (установка в кухнях и санузлах гигрорегулируемых вытяжных устройств);
4. Использование теплового побуждения в теплый период года (подогрев выходящего вытяжного воздуха при помощи прямого воздействия солнечной радиации).

Тут наиболее эффективной системой является гибридная система, это сочетание естественного и механического побуждения.

Таким образом, в многоквартирных зданиях невозможно полностью абстрагироваться от той или иной системы, поэтому приходится решать проблему комплексно. От выбора системы будет зависеть эффективность вентиляции, от чего в свою очередь будет зависеть чистота воздуха, а что значит и здоровье людей. А современные разработки методы наиболее полно отвечают этим требованиям.

*М.С. Мелеховец, инж.; А.В. Царюнов, инж.; рук. Ю.Я. Печенегов, д.т.н., проф. (ООО «НИИ ТОНХиБТ», г. Саратов)*

## КИНЕТИКА СУШКИ ОСАДОЧНОГО ИЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Ежегодный выход отходов промышленного производства в виде осадочного ила сточных вод в мире превышает 3 млрд тонн.

В разработанной в ООО «НИИ ТОНХиБТ» технологии утилизации иловых осадков головным процессом является их высушивание в сушилке с термокомпрессором [1]. Инновационная составляющая новой сушилки [1] состоит в использовании теплоты конденсации пара, испаряющегося из осадочного ила, по замкнутой схеме энергоиспользования. В настоящей работе приведены результаты исследования кинетических характеристик обезвоживания осадочного ила.

Высушивали образец в форме цилиндра диаметром  $D_n = 45$  мм и длиной  $H_n = 140$  мм с влажностью  $U_n = 340$  % и весом 242 г (сухое вещество  $G_{\text{сух}} = 55$  г, влага (вода)  $W_{\text{нач}} = 187$  г) в обогреваемой муфельной камере объемом 0,2 м<sup>3</sup> при температуре 150 °С воздуха в камере. При высушивании образца измеряли его вес  $G$  через интервалы времени  $\Delta\tau = 0,5$  ч. По результатам измерений определяли текущее влажностное содержание  $U = (G/G_{\text{сух}} - 1) \cdot 100$  % и скорость сушки (%/ч)  $N = \Delta U / \Delta\tau$ , где  $\Delta U$  – изменение влажностного содержания (%) в промежутке времени  $\Delta\tau$ , ч.

Получено, что критическое влажностное содержание осадочного ила, соответствующее границе перехода периода постоянной скорости сушки к периоду падающей скорости сушки, составляет  $U_{\text{кр}} = 210 \div 235$  %. Скорость сушки в периоде постоянной скорости составляла  $N_1 = 66$  %/ч, а для периода падающей скорости определена скоростью  $N_2 = 17 + 0,2U_{\text{кр}}$ , где  $U_{\text{кр}}$  – среднее влажностное содержание в рассматриваемый интервал времени  $\Delta\tau$ .

Можно заключить, что в осадочном иле влага содержится преимущественно в связанном состоянии и трудно удаляется при высушивании. Расчеты с использованием полученных данных по кинетике сушки показывают, что время сушки осадочного ила в реальной сушилке при конечном его влажностном содержании  $U_k = 17,6$  % может составлять до 3 часов.

### Библиографический список

1. Патент РФ № 271863, МПК F 26 В 17/04. Ленточная сушилка / Ю.Я. Печенегов и др. Оpubл. 10. 04. 2020г. Бюл. № 10, с.6.

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Изоляция является одним из важнейших требований для сохранения тепловой энергии во всей системе теплоснабжения. Именно по этой причине комплексная оценка всех качеств теплоизоляционных материалов является очень важным фактором для дальнейшего распространения и развития более современных материалов тепловой изоляции. Существует необходимость в разработке более эффективных теплоизоляционных материалов с точки зрения теплопередачи, водоотталкивающих свойств, простоты применения и прочности. Выбор теплоизоляционного материала должен основываться на таких параметрах, как теплопроводность, диаметр трубы, способ прокладки, в том числе, материал должен удовлетворять основными техническими характеристикам, которые включают в себя: пожаростойкость, небольшую среднюю плотность, работу при высоких температурах, низкую теплопроводность, долговечность, низкую влажность, низкое водопоглощение.

Суть исследования состоит в том, чтобы рассмотреть технические характеристики наиболее широко применяемых теплоизоляционных материалов, сделать анализ применения теплоизоляционного материала, структурировать основные данные о таких материалах как: минеральная вата, пенополиуретан, вспененный полиэтилен и стекловолокно. Из всех рассмотренных материалов наиболее востребованным оказалась минеральная вата, удовлетворяющая соотношению качества и цены. Данное утверждение подтверждается как повсеместным практическим применением, так и на основе технического анализа. Все это поможет уменьшить теплопотери в системах теплоснабжения, делая систему более энергоэффективной, ведь энергосбережение является составной частью устойчивого развития всей страны [1].

### **Библиографический список.**

1. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Ахметов Т.Р. Оценка эффективности реализации программ энергосбережения. Проблемы энергосбережения в теплоснабжении // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 9-10. С. 12-21.

*А.С. Швец, студ.; рук. П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., профессор.  
(ТПУ, г. Томск)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ НАГРЕВА БИОМАССЫ ПРИ МИКРОВОЛНОВОМ ПИРОЛИЗЕ

СВЧ-пиролиз используется при переработке биомассы. При воздействии микроволнового поля на обрабатываемый материал распределение энергии происходит одновременно по всему объему. Поэтому нагрев всей массы материала значительно быстрее обычного пиролиза. В проведенном исследовании изучалось влияние времени нагрева на выход концентраций газов. В условиях эксперимента нагрев происходил фиксировано по времени 15, 20, 25 минут (табл. 1). Масса навески составляла 10гр. В качестве топлива использовались опилки с контролируемой влажностью.

**Таблица 1. Концентрации компонентов газовой смеси при варьировании времени нагрева.**

Топливо	Время нагрева	O <sub>2</sub> , %	CO <sub>2</sub> , %	CO, (%)	NO <sub>x</sub> , ppm	H <sub>2</sub> , ppm	H <sub>2</sub> S, ppm	Доля оставшейся золы, %
Опилки	15 минут	20.49	1.67	0.12	4.60	0.03	0.05	0.8
	20 минут	20.09	1.40	0.08	10.44	0.04	0.02	0.7
	25 минут	20.50	0.55	0.06	2.48	0.02	0.03	0.7

Установлено, что при нагреве в течение 15 минут концентрации CO и H<sub>2</sub> выше, а CO<sub>2</sub> ниже по сравнению с нагревом в течение 20 и 25 минут. Это связано с тем, что с ростом времени нагрева топливо быстрее пиролизуется, а выделившиеся в процессе пиролиза газы выгорают за счет продолжающегося нагрева печи. Полученные данные коррелируют с данными и заключениями [1]. Согласно исследованию [1] при меньшем времени нагрева выход концентраций выше. Установлено [1], что импульсный микроволновый нагрев в течение ограниченного интервала времени оказался эффективнее по сравнению с непрерывным длительным нагревом.

### Библиографический список

1. Lei, H., Ren, S., & Julson, J. (2009). The Effects of Reaction Temperature and Time and Particle Size of Corn Stover on Microwave Pyrolysis. *Energy & Fuels*, 23(6), 3254–3261

*П.В. Анцибор, студ.; рук. С.В. Васильевк.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПТИЦЕФАБРИКИ**

В рамках импортозамещения, производство некоторых видов сельхозпродукции в РФ стабильно растет. В условиях истощения углеродных ресурсов Земли все большее количество стран развивают альтернативные виды топлива, одним из которых является биогаз.

В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности системы энергоснабжения птицефабрики, расположенной в Ивановской области. В настоящее время теплоснабжение птицефабрики осуществляется от котельной с паровыми и водогрейными котлами, биоотходы от птиц используются в качестве удобрения.

На основании данных о наличии тепловых и электрических нагрузок и данных о выходе биоотходов от птиц, авторами разработана система комбинированного энергоснабжения птицефабрики. В результате анализа литературных источников предложена технология получения топлива из биоотходов предприятия, посредством применения автономного биоэнергетического блок-модуля. Получаемый в блок-модуле биогаз предлагается использовать в когенерационной установке в качестве топлива с целью выработки тепловой и электрической энергии для собственных нужд объекта. На основании сравнительного анализа была выбрана когенерационная газопоршневая установка (ГПУ). Благодаря применению биогазовой установки удастся добиться утилизации биоотходов от птиц с получением удобрения более высокого качества, которое оказывает меньше агрессивного воздействия на окружающую среду.

В работе определены технико-экономические показатели предлагаемой системы энергоснабжения и определен срок ее окупаемости. Предлагаемые решения позволят повысить надежность энергоснабжения, сократить затраты на топливо, а также улучшить экологические показатели.

### **Библиографический список**

**1. Мариненко Е.Е.** Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве: Учебное пособие. – Волгоград: ВолГАСА, 2003. – 100 с.

**2. Жихар Г.И.** Использование местных топлив для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии // Теплоэнергетика. – 2017. - №2. – с.41-49

*И.А. Быкова, студ.;  
рук. Н.Н. Смирнов, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **О НЕОБХОДИМОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ КОРПУСА «Д» ИГЭУ**

Поддержание допустимых параметров микроклимата в помещениях, где люди заняты интенсивным умственным трудом, с помощью системы вентиляции является актуальной задачей.

В новом учебно-лабораторном корпусе «Д» ИГЭУ микроклимат обеспечивается с помощью системы отопления и вентиляции. На мансардном этаже для большинства помещений была организована система механической общеобменной приточно-вытяжной вентиляции, а для санитарных узлов – местной вытяжной вентиляции.

После монтажа, наладки и ввода в эксплуатацию системы вентиляции, в ряде помещений в связи с производственной необходимостью были произведены конструктивные изменения, а именно установлены дополнительные межкомнатные перегородки. В следствие этого существующая схема воздухообмена была видоизменена. Так, в некоторых помещениях осталась только приточная, а в других – вытяжная механическая вентиляция.

В ходе выполнения работы было проведено энергетическое обследование мансардного этажа, в том числе сделана тепловизионная съёмка ограждающих конструкций, а также составлен баланс по вредностям. Было выяснено, что наибольшие трансмиссионные потери приходятся на светопрозрачные конструкции. Рассчитали требуемый воздухообмен для помещений. Были предложены мероприятия по реконструкции существующей системы вентиляции с целью обеспечения необходимого воздухообмена в помещениях.

### **Библиографический список**

**1. Пыжов В.К., Смирнов Н.Н.** Системы кондиционирования, вентиляции и отопления «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново, 2019. – 529 с.

*В.М. Гусева, студ.; рук. Р.Н. Габитов, к.т.н, доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ**

Одной из актуальных проблем в железнодорожной отрасли является утилизация отработанных деревянных шпал. Для защиты от воздействия погодных условий и различных насекомых шпалы покрывались креозотом. Креозот активно использовался еще с 50-х годов XX века и представляет собой продукт дистилляции массы каменного угля дегтем, в результате чего получается фенольный эфир – ядовитое вещество. Утилизация ядовитых веществ традиционными способами захоронением и сжиганием нежелательна и в ряде случаев запрещена [1]. Эффективным способом утилизации шпал является пиролиз с последующим сжиганием полученного пиролизного газа.

Одним из перспективных методов утилизации шпал является термический метод с использованием слоевых установок. Чтобы оценить функционирование таких установок необходимо провести детальный анализ процессов теплообмена, протекающих в рабочем пространстве, определить конструктивные особенности. Функционирование установки по утилизации шпал позволит обеспечить теплом и электрической энергией животноводческий комплекс.

Важной задачей является определение энергетической эффективности установки. В рамках работы проведено расчетное определение потребляемой и получаемой энергии, оценка производительности в зависимости от различных параметров исходного сырья.

Для четырех одновременно работающих реакторов диаметром – 1,2 м и длиной 6 м, рассчитаны тепловые балансы при различных режимах работы установки, например, производительность по исходному сырью, например, с влажностью 35% и зольностью 10% – 26 т/сут, выработка тепловой мощности составила 2 МВт, количество топливного газа отдаваемого потребителю на собственные нужды – 1.97 т/сут.

### **Библиографический список**

1. Тимербаев Н. Ф., Сафин Р. Г., Саттарова З. Г. Утилизация твердых отходов деревопереработки, содержащих токсичные вещества // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - №4. - с. 79 -84.

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

## УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ СТОЧНЫХ ВОД

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.

В данной работе рассматриваются хозяйственно-бытовые и поверхностные (ливневые стоки) сточные воды. В качестве основных характеристик теплоносителя приводятся температурные потенциалы и фракционный состав. Также проводится исследование схем очистки (механическая и биохимические) и различных способов фильтрования. Проводится расчёт нагрузок на отопление и вентиляцию для микрорайона по укрупнённым показателям для определения необходимого расхода сточных вод.

В заключении проводится обзор с последующим сравнением наиболее известных теплоутилизирующих установок, использующих тепло сточных вод и расположенных как на территории России, так и за рубежом.

### Библиографический список

- 1. Агишева И.Р.** Утилизация тепла сточных вод // Научное сообщество студентов: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: сб. ст. по мат. III междунар. студ. науч.-практ. конф. № 3.
- 2. Д. Г. Закиров, А. А. Рыбин.** Использование низкопотенциальной теплоты. Кн. 2 // Использование низкопотенциальной теплоты. Кн. 2: монография: в 2 кн. Кн. 2. - Москва: Русайнс, 2015. - 157 с. Кн. 2.
- 3.** Патент №2480683. Способ утилизации низкопотенциального тепла сточных вод.
- 4. А. Обидный, Э. Малкин, А. Яценко.** Анализ существующих устройств и систем отбора низкопотенциальной теплоты сточных вод систем канализации // Budownictwo zo zoptymalizowanym potencjale energety. – 2015. - №1(15). – С.143-151.

*Обухов Д.М. бак.;*

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

## **АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ**

Энергоэффективность показывает, насколько рационально используются ресурсы для достижения требуемого уровня энергетического обеспечения здания. В данной работе рассматриваются критерии оценки энергетической эффективности зданий и сооружений, такие как приведенное сопротивление теплопередаче, удельная теплозащитная характеристика здания, температура на внутренней поверхности конструкций, теплоустойчивость, воздухопроницаемость, сопротивление паропроницанию и теплоусвоению.

Все эти критерии должны объективно рассматриваться исходя из цели и условий их применения. Например, архитектурные особенности здания могут ограничивать применение теплоизоляционной оболочки снаружи, поэтому в проектных расчетах мы должны вносить соответствующие корректировки. Так же в работе рассматриваются такие характеристики, как удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности материалов, коэффициент теплового излучения конструкций. Все эти параметры поддерживаются на определенных уровнях для обеспечения комфортного состояния человека, обусловленного уровнем энергетической обеспеченности здания.

При наличии нескольких вариантов проектных решений тепловой защиты зданий следует выбрать тот вариант, который позволяет обеспечить нормативные требования с наименьшими энергетическими и материальными затратами, что позволяет повысить энергоэффективность.

Таким образом, при оценке и выборе критериев энергетической эффективности в приложении к рассматриваемому объекту необходимо руководствоваться системным подходом, учитывающим все особенности и условия эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. **СП 50.13330.2012.** Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий/Минрегион России. -М.: ЦПП, 2012.-100 с.
2. **СП 345.1325800.2017.** Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты /Минрегион России. -М.: ЦПП, 2012.-56 с.
3. **Свод правил по проектированию и строительству 23-101-2004** Проектирование тепловой защиты зданий. - М.:ФГУП ЦПП, 2005. - 139 с.

*Осипов И.В. студ.;*

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

В настоящей работе рассматривается процесс повышения эффективности конвективных сушильных установках, где рабочим агентом является нагретый воздух. Что позволяет использовать для процесса сушки различных материалов вторичные энергоресурсы(ВЭР). На основании Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 №261 регламентирующего увеличение количества объектов, использующих в качестве источников энергии вторичный энергетические ресурсы, можно сделать вывод об актуальности рассмотрения данного вопроса.

В исследовании рассматриваются методы повышения эффективности, за счет утилизации высокопотенциальных тепловых вторичных источников энергии в схемах конвективных сушильных установок. К таким источникам можно отнести отходящие газы, тепло конденсата, воздуха, уходящего из сушилки и др. Также проводится анализ целесообразности использования в этих схемах тепловых насосов.

В качестве основных рассматриваемых характеристик вторичного энергоресурса в данном исследовании рассматриваются его температурный потенциал, и расход этого ресурса в схеме сушильной установки. В ходе исследования проводится анализ с использованием методов инженерного расчёта тепловой и электрической энергии на возобновление сушильного агента с использованием утилизации теплоты вторичного энергоресурса и при его отсутствии.

В заключении приводятся данные исследования с различными вариантами повышения эффективности конвективной сушильной установки путем использования ВЭР с последующим анализом их эффективности, а также делается вывод о целесообразности применения рассматриваемых вариантов на практике.

### **Библиографический список**

1. **Лебедев П.Д.** Расчет и проектирование сушильных установок. (Учеб. для высш. техн. учебн. заведений). М-Л., Госэнергоиздат, 1962, 320 с с черт.
2. Использование низкопотенциальной теплоты. Кн. 2 / Д. Г. Закиров, А. А. Рыбин // Использование низкопотенциальной теплоты. Кн. 2 : монография : в 2 кн. Кн. 2. - Москва : Русайнс, 2015. - 157 с. Кн. 2.

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

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Установленные в зданиях узлы учета тепловой энергии и теплоносителя используются для определения размера платы за количества использованной потребителем тепловой энергии и теплоносителя. Как правило, проектные данные системы отопления здания не соответствуют их фактическим значениям. За длительное время эксплуатации фактическая максимальная отопительная нагрузка здания значительно отличается от проектных значений, т.к. изменились и тепловые потери через ограждающие поверхности здания, и техническое состояние системы отопления.

Для организации дистанционного мониторинга системы отопления требуется разработка базы проектных данных и результатов расчета.

По данным дистанционного мониторинга определяются фактические параметры наружного воздуха  $t_n$ ; средняя условная температура воздуха внутри здания  $t_{в}$ ; фактическая максимальная отопительная нагрузка здания  $Q_{o,max}$ ; параметр КF здания; теплозащитная характеристика здания  $KF_{зд}$ ; характеристика системы отопления  $KF_{co}$ ; фактический расход теплоносителя  $G_f$ , класс энергоэффективности (удельная отопительная характеристика здания).

В результате экспресс-анализа выявлены соответствия проектного и эксплуатационного (фактического) режимов работы системы отопления здания в сравнении с методиками [1,2,3].

### **Библиографический список**

1. **Е.Я. Соколов** Метод контроля отопительной нагрузки. – Электрические станции. №9. 1990. С. 62-66.
2. **И.М. Сапрыкин** Метод контроля качества наладки в системах теплоснабжения// Новости теплоснабжения. № 1. 2004. С. 21-26.
3. **С.М. Кулагин, В.Л. Гудзюк, А.Н. Корягин** Опыт поведения экспресс-энергоаудита жилых и административных зданий. – Новости теплоснабжения. №4. 2010. С. 46-48.

*В.А. Садертинова, студ.;*

*рук. М.В. Козлова ассистент (ИГЭУ, г.Иваново)*

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ**

Влажный воздух, то есть смесь сухого воздуха и водяного пара, является рабочим телом во многих технологических процессах, которые протекают в различных теплоэнергетических устройствах. В связи с этим важно точно определять параметры данной газовой смеси.

Для правильной эксплуатации, проведения конструктивных расчетов и определения режима работы, а также проведения анализа конкретных процессов необходимо особое внимание уделять изучению особенностей смеси сухого воздуха и водяного пара. Авторами был разработан расчетный комплекс, предназначенный для определения термодинамических и теплофизических свойств влажного воздуха. В данной работе водяной пар рассматривается не как идеальный газ, а как реальный. Определение его параметров осуществлялось по уравнению Моляе. Производится учет реального влагосодержания воздуха, т.е. значимость этой программы заключается в том, что происходит оптимизация определения параметров влажного воздуха. Таким образом, повышается точность расчета процессов теплообмена.

Расчеты реальных свойств производятся автоматически по заданной температуре паровоздушной смеси и влажности воздуха. Программа предназначена для определения термодинамических и теплофизических свойств атмосферного воздуха и может применяться для расчета плотности, температуры точки росы, молекулярной массы, влагосодержания, энтальпии, изобарной теплоемкости, кинематической и динамической вязкости, коэффициента теплопроводности, коэффициента температуропроводности, критерия Прандтля паровоздушной смеси, объемной и массовой доли компонентов влажного воздуха.

### **Библиографический список**

1. Андреев Е.И. Расчет тепло- и массообмена в контактных аппарат / Е.И. Андреев. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 192 с.
2. Воронец Д., Козич Д. Влажный воздух: термодинамические свойства и применение/Д. Воронец, Д. Козич. Пер. с сербохорв. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 136 с., ил.
3. Бурцев С.И., Цветков Ю.Н. Влажный воздух. Состав и свойства/С.И. Бурцев, Ю.Н. Цветков. Учеб. пособие. – СПб.:СПбГАХИТ, 1998. – 146.

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

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАРОВОЙ КОТЕЛЬНОЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ РАБОТЫ**

Основными направлениями экономии топлива производственно-отопительными котельными являются: снижение тепловых потерь парогенерирующими и теплоиспользующими установками, использование вторичных энергоресурсов, а также применение когенерации на источниках теплоснабжения[1,2].

В данной работе рассмотрена модернизация существующей котельной с паровыми котлами текстильного предприятия ООО «Край-текс-Ресурс», расположенного в г. Кохма Ивановской области, путем перевода двух котлов ДКВР 10/13 в водогрейный режим, а также путем использования когенерационной установки.

Благодаря техническому решению по переводу котлов в водогрейный режим снижается потребность в топливе, электроэнергии и воде, сокращается негативное воздействие на окружающую среду, за счет сокращения вредных выбросов в атмосферу и сброса сточных вод и продлевается срок службы установленного основного оборудования.

В работе, используя данные о наличии тепловых и электрических нагрузок, с учетом уже установленного оборудования и отсутствия в схеме котельной РОУ, на основании технико-экономического сравнения вариантов выбрана когенерационная газопоршневая установка (ГПУ). Электрическая энергия, произведенная когенерационной ГПУ, будет использоваться на собственные нужды объекта, а тепловая энергия – для теплоснабжения потребителей. Это мероприятие позволит повысить надежность энергоснабжения и сократить затраты на топливо. Автором произведено сравнение технико-экономических показателей до и после модернизации котельной, а также произведен анализ совместной работы водогрейных котлов и ГПУ.

### **Библиографический список**

- 1. Буров В.Д., Дудолин А.А., Макаревич В.В., Макаревич Е.В.** Потенциал применения газопоршневых двигателей зарубежных производителей на территории РФ/Турбины и дизели. 2009, №5, с.28-33.
- 2. Субботин В.И., Васильев С.В., Махов О.Н.** Энергосбережение в системах теплоснабжения: учеб. пособие/ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина. – Иваново, 2012. – 264 с.

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23.11.2009 №261 регламентирует увеличение количества объектов, использующих в качестве источников энергии вторичные энергетические ресурсы, к которым относят в числе прочего твёрдые и сыпучие отходы лесоперерабатывающих предприятий.

В данной работе рассматривается использование отходов лесопереработки в качестве топлива для котельной установки сушильного цеха, где происходит сушка обрезного материала. Сыпучие отходы перерабатываются в гранулы, твердые отходы перерабатываются в щепу на грануляторах и щеподробилках. Энергия дымовых газов на выходе из котла используется для сушки в скрубере вторичных вышеперечисленных отходов для интенсификации процесса горения. В котле происходит нагрев воды, потенциал которой будет использоваться для нагрева воздуха в калорифере сушильной камеры. Получившаяся паровоздушная смесь в результате процесса сушки направляется на теплообменник для подогрева вентиляционного воздуха подсобного помещения. В качестве основных характеристик теплоносителя приводятся температурные потенциалы и фракционный состав. Проводится выбор нужного оборудования, расчёт производительности сушильного цеха, расход вторичных энергоресурсов. Проводится расчёт нагрузок на вентиляцию для подсобного помещения по укрупнённым показателям для определения необходимого расхода паровоздушной смеси и подогреваемого воздуха.

В заключении проводится обзор наиболее распространённых методов сушки древесины, теплоутилизирующих установок, использующих энергию вторичных ресурсов лесопереработки расположенных как на территории России, так и за рубежом.

### **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 твёрдых материалов: методич. пособие / В. М. Захаров, Н. М. Ладаев. – Иваново, 2004 – 84с.



**СЕКЦИЯ 6**

**ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

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

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



*Д.В. Антонов, аспирант; рук. П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., проф.*

*(НИ ТПУ, г. Томск)*

## **МИКРО-ВЗРЫВ И ДИСПЕРГИРОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КАПЕЛЬ ТОПЛИВ**

Большинство технологий распыления многокомпонентных капель жидких топлив направлено на увеличение площади поверхности теплообмена и химического реагирования. Особенно важно увеличить данный параметр для технологий испарения или сжигания примесей в системах пожаротушения и тепломассообменных установках. Однако мелкодисперсные потоки жидкости, вследствие возникающих явлений торможения и разворота легко увлекаются газовой средой из зоны тепломассообмена, что негативно влияет на эффективность технологического процесса. Одним из путей решения проблемы повышения эффективности испарения жидкостей в капельном состоянии может являться так называемое вторичное измельчение капель непосредственно в зоне теплообмена [1].

В настоящей работе рассмотрен микро-взрыв/диспергирование многокомпонентных капель топлив как один из наиболее эффективных способов вторичного измельчения [2]. Микро-взрыв/диспергирование позволяет увеличить площадь поверхности испарения более чем в 100 раз [2]. При проведении экспериментальных исследований использовались стенды, представленные в опытах [2]. В качестве исследуемых компонентных составов использованы: вода, графитовая суспензия, эмульсии на основе рапсового масла и дизельного топлива. Выбор данных жидкостей обусловлен их широким применением в приложениях, указанных в вводной части [1].

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента (проект СП-447.2021.1).

### **Библиографический список**

3. **Shlegel N.E., Strizhak P.A., Tarlet D., Bellettre J.** Comparing the integral characteristics of secondary droplet atomization under different situations // International Communications in Heat and Mass Transfer. 2019. V. 108. 104329.
4. **Antonov D.V., Piskunov M.V., Strizhak P.A.** Breakup and explosion of droplets of two immiscible fluids and emulsions // International Journal of Thermal Sciences. 2019. V. 142. P. 30-41.

*А.С. Белов, аспирант; рук. Э.А. Бекиров, д.т.н., профессор  
(КФУ им. В.И. Вернадского, г. Симферополь)*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ СКВАЖИН КРЫМА

Одним из путей скорейшего освоения геотермальных ресурсов является использование для добычи геотермальных вод уже существующих скважин. На территории Крымского полуострова такими скважинами являются геолого-разведочные и скважины выработанных нефтегазовых месторождений. Районы расположения вышеуказанных скважин, как правило, густо населены, имеют многочисленные домовладения и сельскохозяйственные предприятия, испытывающие дефицит энергии. Использование даже небольшой части этого фонда позволит вовлечь в топливно-энергетический баланс Республики Крым значительное количество геотермальной энергии и сократить потребление традиционных энергоресурсов[1].

Проведенный анализ существующего фонда позволил сделать выборку нескольких перспективных скважин в разных районах Крымского полуострова, по которым был сделан расчёт теплоэнергетического потенциала [2]:

$$G = QC_v \Delta T \quad (1)$$

где Q – прогнозные ресурсы (дебет скважины), м<sup>3</sup>/сутки;

C<sub>v</sub> – удельная теплоёмкость воды (принята 1000 Ккал/м<sup>3</sup>·град);

ΔT – среднее значение величины возможного снижения температуры термальных вод (до 30°C)

Параметры выбранных скважин и результаты расчёта приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Результаты расчёта теплоэнергетического потенциала**

№ скважины	Расположение	Q, м <sup>3</sup> /сут	T, °C	G, Гкал/сутки	S, м <sup>2</sup>
ОктГ-32	с. Котельниково, Красногвардейский район	713,66	63	23,55	11410
НвсГ-16	с. Ильинка, Сакский район	1304,64	59	37,83	18331
ЯнтГ-36	с. Янтарное, Красногвардейский район	1728,00	81	88,13	42698
СсвГ-39	с. Медведевка, Джанкойский район	667,00	64	22,68	10987
Глб-3	С. Глебовка, Черноморский район	1162,00	62	37,18	18016

Исходя из нормативного показателя тепловой энергии, принятого для отопления и равного  $100 \text{ Вт/м}^2$  произведен расчёт величины потенциально отапливаемой площади  $S$  для каждой выбранной скважины.

Результаты произведенного анализа показывают, что существующие на территории Крымского полуострова геотермальные скважины имеют существенный потенциал для теплоснабжения небольших населенных пунктов, объектов сельского хозяйства и промышленности.

Однако, тепловой потенциал является не единственным фактором использования термальных вод. Проведенный анализ данных по химическому составу воды показал наличие существенного газового фактора, особенно, в районах нефте-газодобычи [2].

Оснащение геотермальных тепловых пунктов сепараторными установками для отделения газа от воды позволит использовать дополнительный энергетический потенциал скважин благодаря преобразованию тепловой энергии сгорания в электрическую энергию и использованию ее для собственных нужд, либо же для снабжения сторонних потребителей.

#### **Библиографический список**

- 1. Разаков А.М., Тарапон А.Г.** Модели теплопередачи в геотермальной аномалии Степного Крыма. Освоение циркуляционной технологии добычи тепла Земли – Киев: Институт проблем моделирования в энергетике НАН Украины, Институт технической теплофизики НАН Украины, 2000. – 160 с.
- 2. Тищенко М.В.** Регіональна оцінка прогнозних ресурсів підземних термальних вод Криму. (Заключний). Симферополь, 2008.

*О.С. Гайдукова, аспирант;  
рук. П.А. Стрижак, д.ф.-м.н., проф.  
(ТПУ, г. Томск)*

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА ЗАЖИГАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ**

В связи с истощением традиционных энергетических ресурсов и увеличением спроса на энергию важно активнее использовать альтернативные источники [1]. Нетрадиционные полезные ископаемые, такие как газовые гидраты, являются наиболее перспективными стратегическими ресурсами [2]. Изучение механизма и характеристик процесса горения газовых гидратов является необходимым для его безопасности хранения и транспортировки, а также для обеспечения высокой эффективности при сжигании.

Целью данной работы является численное исследование влияния основных параметров процесса на характеристики и условия зажигания газовых гидратов при кондуктивном нагреве.

Установлены зависимости основной характеристики процесса – времени задержки зажигания от температуры поверхности нагрева, темпов нагрева образца, энергии активации реакции окисления паров горючего и предэкспоненциального множителя реакции окисления паров горючего. Выявлены предельные значения основных параметров источника энергии, при которых условия зажигания реализуются устойчиво. Показано, что с ростом температуры поверхности нагревателя времена задержки зажигания уменьшаются нелинейно.

Разработанная модель теплопереноса позволяет воспроизвести разные условия теплообмена топлива с греющей средой за счет варьирования типа граничных условий. Это является одним из ключевых преимуществ при анализе потенциальных условий инициирования перспективного топлива – газового гидрата.

Исследование поддержано грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Соглашение №075-15-2020-806 (договор №13.1902.21.0014).

### **Библиографический список**

1. **Лядов М.А.** Истощение энергоресурсов: сравнительный анализ стран мира за период 1992 - 2015 гг // Синергия Наук. 2018. № 19. С. 459-465.
2. **Истомин В.А., Якушев В.С.** Газовые гидраты в природных условиях. М.: Недра, 1992. 236 с.

*С.О. Гапоненко, к.т.н.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ**

Современные методы и средства неразрушающего контроля и диагностики трубопроводов применяются для обнаружения различных дефектов, нарушения герметичности, напряженного состояния, контроле сварных соединений, контроле протечек и др. параметров, ответственных за эксплуатационную надежность трубопроводов [1-4].

Развитие трубопроводного транспорта в последние годы связано с широким применением неметаллических трубопроводов, изготовленных из пластмасс и композитов. Основными недостатками данных трубопроводов являются неоднородность физико-механических свойств и наличие дефектов типа непрочекля и расслоений. Поэтому для данных трубопроводов особенно актуальна проблема их неразрушающего контроля и диагностики, особенно физико-механических свойств и указанных типов дефектов [1-4].

Контроль технического состояния трубопроводов необходим для увеличения их надежности, снижения аварийности и получения, в конечном итоге, прибыли за счет снижения экологических штрафов, затрат на устранение аварий и их последствий, а также убытков от простоя оборудования при авариях [1-4].

### **Библиографический список**

- 1. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О.** Совершенствование методики контроля технического состояния оборудования энергетических систем и комплексов. XXIV Туполевские чтения (школа молодых ученых). Казань: КНИТУ-КАИ, 2019. С. 644-648.
- 2. Гапоненко С.О.** Программно-аппаратный комплекс на основе теоретического моделирования и экспериментального исследования зависимости энтропийных виброакустических параметров линейно-протяженных энергетических объектов от их технического состояния. «Тинчуринские чтения»: материалы XIV Международной молодежной научной конференции: в 3 т. Т. 2. Ч. 1. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. С. 3-6.
- 3. Гапоненко С.О.** Разработка комплексной методики контроля технического состояния инженерных коммуникаций на основе математического моделирования и экспериментальных исследований. Научному прогрессу - творчество молодых. 2020. № 2. С. 17-20.
- 4. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О.** Повышение надёжности работы энергетических систем путем определения технического состояния трубопроводов. «Тинчуринские чтения»: материалы XIV Международной молодежной научной конференции: в 3 т. Т. 2. Ч. 1. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. С. 184-187.

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ СТЕКЛОПАКЕТ**

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

При расчете приведенного сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций особую важность представляют процессы, происходящие в воздушной прослойке между слоями остекления. Для изучения данного вопроса в специализированном программном комплексе была разработана трехмерная имитационная модель процесса теплопередачи через стеклопакет. При моделировании использовался метод конечных элементов. В качестве заполнения прослойки использовались различные газы с низкой теплопроводностью.

Были получены температурные поля как на поверхностях стеклопакета, так и в его разрезе. Особый интерес представляют рассчитанные в программном комплексе линии функции тока, а также изотермы во внутренней прослойке стеклопакета. На основании выполненного моделирования были определены тепловые потери, а также приведенное сопротивление теплопередаче данной светопрозрачной конструкции.

### **Библиографический список**

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

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

## **ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДЕЖУРНОГО РЕЖИМА ОТОПЛЕНИЯ**

Объективную оценку эффективности применения энергосберегающих мероприятий при организации микроклимата в помещениях различного назначения можно сделать только при учёте различных факторов, в том числе, режима работы оборудования, изменения параметров внутреннего и наружного воздуха, инерционных свойств материалов ограждающих конструкций и т.д.

При использовании дежурного режима отопления особую важность представляют переходные тепловые процессы в период времени от окончания рабочей смены до её начала. Следовательно, моделирование данных процессов с помощью физического и численного экспериментов является актуальной задачей.

Было произведено энергетическое обследование помещения тренажера блочного щита управления АЭС, составлены балансы по вредностям, определен требуемый воздухообмен, а также создана в специализированном программном комплексе имитационная модель динамического микроклимата. В качестве энергосберегающих мероприятий было предложено использовать теплоотражающие экраны в окнах, а также дежурный режим отопления, который достигался за счёт прекращения подачи подогретого приточного воздуха в помещение.

На основании выполненного моделирования были получены зависимости изменения температуры воздуха в помещении при применении дежурного режима отопления на различной высоте в течение нерабочего периода суток. На температурных полях, сделанных в различных плоскостях и моментах времени, наблюдалось влияние инерционных свойств, как ограждающих конструкций, так и внутреннего нагретого оборудования. Было определено, что динамика изменения температуры значительно отличается от местоположения контрольной точки измерения.

Необходимо отметить, что расчётное значение температуры внутреннего воздуха в нерабочий период времени и полученное в ходе имитационного моделирования значительно отличались. Аналогичные результаты были получены при определении тепловых потерь через ограждающие конструкции.

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

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА**

Развитие энергетики предполагает использование ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий, например использование растительной биомассы в качестве топлива, значительную долю которой составляет древесина, в виде отходов деревоперерабатывающей промышленности.

Известно, что двухстадийное энергетическое использование биомассы эффективнее одностадийного. Двухстадийный процесс переработки древесных отходов подразумевает реализацию автотермической газификации биомассы. На основании анализа литературных источников, ввиду низкого содержания смол был принят обращенный процесс газификации. Выбор данного метода также связан с применением для мини-ТЭЦ [1].

В данной работе была произведена автоматизация расчета технологической схемы получения генераторного газа в программном продукте MS EXCEL. Состав оборудования для получения силового генераторного газа:

- блок подготовки исходного древесного топлива, предназначенный для обеспечения требуемой влажности, оптимальной для получения силового генераторного газа;
- газогенератор, имеющий четыре зоны, через которые проходит исходное, высушенное до заданной влажности топливо: зону сушки, зону пиролиза, зону газификации и зону горения, в ней осуществляется первая стадия сжигания;
- блок очистки силового генераторного газа от содержания вредных примесей (золы и смол), для причинения минимального вреда экологии, в который входят циклон и скруббер.

Полученные результаты могут быть рекомендованы при выполнении расчетных графических работ, выпускных квалификационных работ, а также для проведения лабораторных занятий.

### **Библиографический список**

1. **Алешина А.С.,** Сергеев В.В. Газификация твердого топлива: учеб. пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010 — 202 с.

**СЕКЦИЯ 7**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Председатель –  
д.т.н., профессор **Тютиков В.В.**

Секретарь –  
к.т.н., доцент **Ставров С.Г.**



*В.В. Гордеев, студ.; рук. А.А. Штанг, к.т.н., доц.  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

## **РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ**

Для изучения процесса перекачки нефти разработан учебно-лабораторный стенд. При его разработке учитывалась необходимость контроля ряда параметров процесса: температуры жидкости, расхода жидкости, а также расхода электроэнергии. Поскольку стенд будет использоваться для различных учебных целей, были выделены следующие его элементы: датчики и исполнительные механизмы; промышленный контроллер; программирование промышленных контроллеров; различные среды программирования. Кроме того, в данном стенде потребовалось наглядно продемонстрировать возможности автоматической системы дистанционного управления и различных мобильных приложений для контроля автоматической системы дистанционного технологических процессов.

На первом этапе была разработана функциональная схема автоматизации стенда, в которой определены отдельные узлы автоматического контроля технологического процесса, его управления и регулирования, а также оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации. В данную схему были включены: центробежный насос, резервуар, нагревательный элемент, а также датчики температуры, расхода жидкости и электросчетчик. На следующем этапе были выбраны определенные элементы (контроллер, датчики, исполнительные механизмы), а также составлена техническая структура учебно-лабораторного стенда, в которой равномерно распределены все элементы на объекте.

На последнем этапе разработки потребовалось создать принципиальную электрическую схему, на которой должны были быть изображены все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии установленных электрических процессов, все электрические взаимосвязи между ними, а также электрические элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи. Информационное обеспечение было создано при помощи инструментального программного комплекса промышленной автоматизации CoDeSys, основой которого является среда разработки прикладных программ для программируемых логических контроллеров. После окончания проектирования стенда потребовалось разместить оборудование согласно технической структуре и добавить дополнительные датчики (датчик давления датчик вязкости, скорости движения жидкости).

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

## **ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМ ПРОГРАММНОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Как проектировщикам, так и оперативному персоналу нужен программный инструмент – симулятор АСУТП. Разработка решений, направленных на оптимизацию проектирования математического и программного обеспечения АСУТП, является актуальной задачей. Проектировщик с его помощью будет решать следующие задачи:

1. Имитационное моделирование технологического процесса в различных режимах работы при воздействиях, программно-формируемых управляющей аппаратурой и средствами человеко-машинного интерфейса;
2. Отладка технологических программ;
3. Выбор наиболее удобных для пользователя средств визуализации технологического процесса и способов формирования управляющих воздействий.

Оперативный персонал задействует программный комплекс на этапе настройки АСУТП, а также в целях обучения. В рамках единого комплекса задействуются следующие программные средства:

1. Система имитационного моделирования VisSim (для построения модели объекта регулирования);
2. Система класса PC-based controller (для программной реализации алгоритмов управления на языках программирования промышленных контроллеров) 3S-Smart Software® CODESYS®, включая PC-эмулятор ПЛК SP PLCWinNT и OPC-сервер.

Эмулирование работы АСУТП осуществляется посредством имитационного моделирования объекта управления и взаимодействия модели с симулятором контроллера с помощью OPC-сервера (рис.1).



Рис.1. Схема взаимодействия программ

### **Библиографический список**

1. Сайт VisSim в России [Электронный ресурс] / URL: <http://vissim.nm.ru>
2. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3. – 3S Smart Software Solution GmbH. Русская редакция: ПК Пролог, 2006.

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННОГО ПРОТОКОЛА ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ MODBUS С ПОМОЩЬЮ ЭМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

Modbus – это протокол для передачи данных через последовательные линии связи RS-485, RS-422, RS-232 и компьютерные сети TCP/IP. Впервые спецификация протокола была опубликована компанией Modicon® в 1979 году для использования с программируемыми логическими контроллерами (PLCs).

Протокол основан на архитектуре «ведущий – ведомый» (master – slave). Устройство, запрашивающее информацию, называется Modbus Master, а устройства, отвечающее на запрос – Modbus Slaves.

Разновидности протокола Modbus:

- Modbus RTU (данные передаются в двоичном виде);
- Modbus ASCII (для обмена используются ASCII символы);
- Modbus TCP (передача данных через TCP/IP-соединение).

С помощью программных эмуляторов RTU Master и RTU Slave выполнено исследование стандартных функций протокола Modbus RTU, используемых для доступа данных:

- чтение и запись состояния релейных выходов;
- чтение дискретных входов;
- чтение и запись значений регистров хранения;
- чтение регистров ввода.

Также реализованы примеры обработки логических ошибок и примеры передачи данных по протоколу Modbus TCP.

В SCADA TRACE MODE выполнена настройка и обмен данными с эмулятором ведомого устройства Modbus TCP/RTU в виде чтения содержимого одного из регистров ввода.

Результаты работы планируется использовать в учебном процессе кафедры АТП ИГЭУ при изучении студентами компьютерных и сетевых технологий.

### **Библиографический список**

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

М.А. Хальзов, студ., А.А. Матвеева, студ., А.Р. Кочкуров, студ.;  
рук. С.Г. Ставров, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПРОВОДНЫХ СИГНАЛОВ, СВЯЗЫВАЮЩИХ ВНЕШНИЕ УСТРОЙСТВА С ПТК АСУТП

На основе методологии IDEF1X разработан учебный пример с реляционной базой данных, характеризующей внешние устройства (объекты), с которыми программно-технический комплекс (ПТК) АСУТП связан входными и выходными сигналами (рис. 1).

В качестве объектов выступают:

- аналоговые и дискретные датчики;
- исполнительные устройства (здвижки, регулирующие клапаны и т.п.).

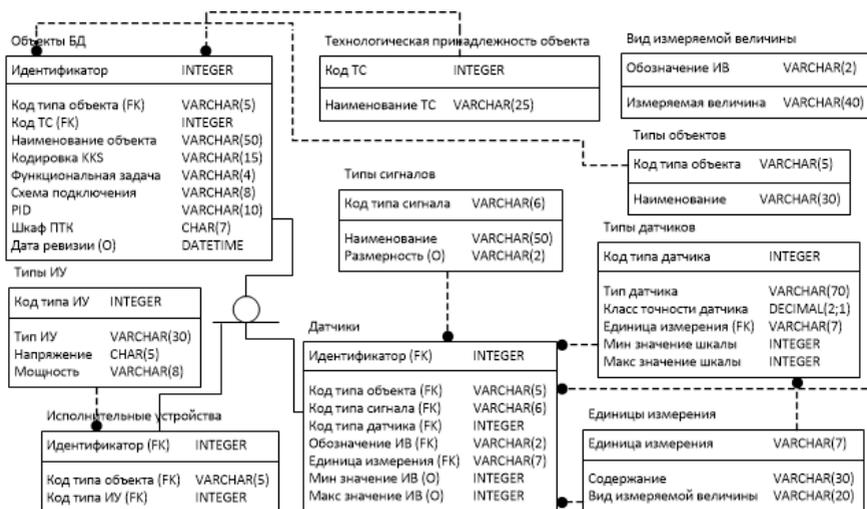


Рис. 1. Модель базы данных в нотации IDEF1X

База данных реализована с помощью СУБД Microsoft Access, которая позволяет редактировать БД и формировать запросы на выборку данных.

Результаты работы планируется использовать в учебном процессе кафедры АТП ИГЭУ при изучении студентами информационных технологий.

*Д.А. Шинкевич, студ., Ю.О. Зыкова, студ.;  
рук. А.Е. Кочетков, старший преподаватель  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

В связи с необходимостью внедрения дистанционных форм обучения в образовательном процессе все большую актуальность приобретает разработка виртуальных лабораторных стендов, позволяющих изучать характеристики реального технологического оборудования при выполнении на них поставленных преподавателем задач.

Целью научной работы является моделирование статических характеристик датчиков температуры для использования моделей датчиков при разработке виртуальных лабораторных стендов по дисциплинам «Технические измерения и приборы» и «Метрологическое обеспечение, технические измерения и автоматизация тепловых процессов». Полученные модели были реализованы в среде разработки LabView 5.0.

В ходе работы смоделированы статические характеристики следующих датчиков:

- термометр сопротивления платиновый ТСП;
- термометр сопротивления медный ТСМ;
- термоэлектрический термометр ТХК.

Модели статических характеристик представляют собой полиномы различного порядка, зависящие от температуры.

Критерием пригодности полученных моделей служит величина максимальной погрешности температуры, значение которой не должно превышать  $0,1^{\circ}\text{C}$  во всем диапазоне измерения.

Результаты оценки погрешности моделей датчиков температуры приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Оценка погрешности моделей датчиков температуры**

Тип датчика	Диапазон измерения, $^{\circ}\text{C}$	Максимальная погрешность, $^{\circ}\text{C}$	СКО погрешности, $^{\circ}\text{C}$
ТСП	-200..850	0,014	0,0022
ТСМ	-200..200	0,04	0,014
ТХК	-200..800	0,008	0,005

Видно, что погрешность моделей не превышает максимально допустимого значения. Полученные результаты позволяют использовать модели датчиков при создании виртуальных лабораторных стендов.

### Библиографический список

1. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.



**СЕКЦИЯ 8**

**ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ**

Председатель –  
к.т.н., доцент **Виноградов А.Л.**

Секретарь –  
к.т.н., доцент **Григорьев Е.Ю.**



*А.Д. Водениктов, асп., Я.О. Шайхутдинов, студ.;  
рук. А.И. Минибаев, ст.преп.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ УСТАНОВОК**

Конденсаторы являются неотъемлемой частью паровых турбин и влияют на их экономичность и условия работы, а от надежности работы конденсатора зависит надежность работы всей ПТУ.

На данный момент на тепловых электрических станциях используются конденсаторы смешивающего и поверхностного типа. Однако наиболее широкое распространение получили поверхностные конденсаторы подвального типа [1].

Основными проблемами при эксплуатации конденсаторов являются ухудшение вакуума из-за засорения трубок и высоких присосов, а также ухудшение деаэрационной способности. При ухудшении вакуума на 1 кПа мощность паротурбинной установки ТЭС может снижаться примерно на 1%, а АЭС примерно на 2%, согласно [2].

Важным показателем, определяющим надежность работы энергоблока, является содержание в конденсате растворенного кислорода, которое, согласно регламенту ПТЭ, не должно превышать 20 мкг/л. Согласно анализам [3], в различные периоды эксплуатации этот параметр в тракте регенерации низкого давления может превышать нормативное значение более чем в 2 раза. Было также установлено, что концентрация растворенного кислорода возрастает с понижением температуры охлаждающей воды [2].

Повышение концентрации растворенного кислорода в конденсате может привести к нарушению водно-химического режима ПТУ, появлению коррозии и выводу из строя оборудования.

### **Библиографический список**

1. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин. –М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. Водениктов А.Д., Чичирова Н.Д. Влияние температуры охлаждающей воды на деаэрирующую способность конденсатора 200-КЦС-2 // Труды Академэнерго. –2020. –№4 (61). –С. 7-18.
3. Водениктов А.Д., Минибаев А.И., Гаева А.А. Наладка и эксплуатация деаэрирующих конденсатороборнников // Материалы X Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2019». – Ч. 2 – Казань, 2019. – С. 363-364.

*А.А. Баранов, А.М. Халиева, студ.;  
рук. И.Н. Маслов, к.т.н, доцент  
(КГЭУ г. Казань)*

## **ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗОК НА РАБОТУ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

В настоящий момент энергетике РФ характерна замена устаревшего паросилового оборудования газотурбинными установками. Важной составляющей работы энергетического оборудования является его участие в регулировании графиков электрической и тепловой нагрузок [1].

Участие энергоблоков в регулировании приводит к износу основного и вспомогательного оборудования. В настоящий момент суточные графики нагрузок неравномерны. Парогазовые установки обладают высокими маневренными характеристиками, поэтому их используют для покрытия изменений в единой энергосистеме.

При разгрузке парогазовых энергоблоков происходит изменение мощности газовой и паровой турбин. Газовая турбина оказывает влияние на мощностные характеристики паровой турбины. Следовательно, это приводит к снижению экономичности паровой турбины и парогазового блока в целом [2]. Кроме того, изменение мощности оказывает влияние на трубопроводы, паропроводы, что приводит к накоплению остаточной деформации, что в свою очередь снижает срок службы основного и вспомогательного оборудования не зависимо от режима работы.

В работе рассмотрены вопросы эксплуатации парогазовых энергоблоков в переменных режимах. Показано влияние маневренных характеристик на износ и надежность эксплуатации энергетического оборудования.

### **Библиографический список**

1. Исследование влияния состояния оборудования блоков пгу и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии Менделеев Д.И., Марьин Г.Е.В книге: ЭНЕРГИЯ-2018. Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 томах. 2018. С. 7.

2. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность работы бинарных пгу Марьин Г.Е., Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р.В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи-2019. материалы юбилейной X Международной научно-технической конференции. 2019. С. 276-279.

*К.Д. Вьюгова, студ., А.Д. Водениктов, асп;  
рук. А.И. Минибаев(КГЭУ, г. Казань)*

## О ПРИМЕНЕНИИ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Одним из способов повышения эффективности работы ГТУ является применение подогрева воздуха, поступающего в камеру сгорания. Как показывает [1], подобное решение может быть осуществлено с помощью уходящих газов.

Разрешением данной проблемы может послужить рекуперативный воздухоподогреватель. Существенным его недостатком является то, что при высоких степенях регенерации, такие теплообменники имеют очень большие габариты и вес относительно самой турбины. В отношении компактности более перспективным представляется воздухоподогреватель с вращающейся поверхностью нагрева (РВП). (таб. 1)

**Таблица 1 – Сравнение теплообменников**

Наименование	Трубчатый теплообменник				РВП
	-	-	-	-	
Потери на протечку	-	-	-	-	3 %
Степень регенерации	40%	60%	80%	90%	95%
Относительный объем теплообменника	1	3	13	38	5
Отношение давлений цикла	5,5	4,75	4	3,5	3
Процент термического к.п.д.	6	17	34	54	55

РВП представляет собой вращающийся ротор дисковой или барабанной формы с заключенной в них поверхностью нагрева. В ходе термодинамического анализа [1] было установлено, что при высоких степенях регенерации, порядка 0,8, и перетечках сжатого воздуха не выше 3-5%, РВП будет обладать значительными преимуществами по весу и объему относительно трубчатого воздухоподогревателя.

### Библиографический список,

1. В.К. Мигай, В.С. Назаренко, И.Ф. Новожилов, Т.С. Добряков. Регенеративные вращающиеся воздухоподогреватели. Л.: Энергия, 1971. 168 с.

Д.С. Ковалёв, студ.; М.С. Постникова, асп.;  
рук. В.О. Киндра, к.т.н. (НИУ МЭИ, г. Москва)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПГУ НА МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ

С каждым годом все больше повышаются требования к экологической безопасности производства электроэнергии. Для снижения выбросов диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) в атмосферу от объектов генерации возможно осуществить частичный переход к применению водорода ( $\text{H}_2$ ). При этом  $\text{H}_2$  можно производить методом электролиза, используя избыточную энергию, генерируемую ВИЭ, АЭС и ГЭС. В свою очередь, применять  $\text{H}_2$  возможно путем совместного сжигания в смеси с природным газом в камерах сгорания ПГУ.

В настоящей работе проведено исследование влияния химического состава метано-водородной смеси на энергетические показатели ПГУ с использованием математических моделей и подходов, описанных в [1]. Согласно полученным результатам при увеличении концентрации  $\text{H}_2$  в топливной смеси до 30 об.% снижается значение удельных выбросов  $\text{CO}_2$  на 15%. В свою очередь, КПД нетто ПГУ уменьшается на 0,05% в связи с повышением концентрации водяных паров и, как следствие, потерей теплоты с уходящими газами котла-утилизатора (рис. 1).

Также следует отметить, что при увеличении концентрации  $\text{H}_2$  в топливной смеси свыше 7 об.% необходимо повышать давление газа перед горелками камеры сгорания, поскольку число Воббе отклоняется более чем на 5% (рис. 2).

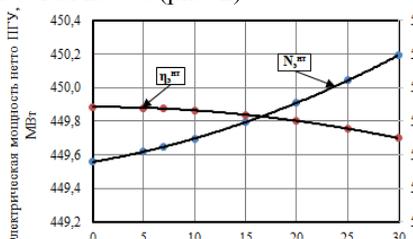


Рис. 1. Показания мощности и КПД

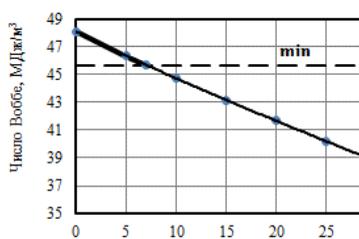


Рис. 2. Показания числа Воббе

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

### Библиографический список

1. Киндра В.О., Постникова М.С., Наумов В.Ю., Ковалев Д.С. Разработка математической модели охлаждаемой газотурбинной установки / Инновации. Наука. Образование. – 2020. – № 21. – С. 1287-1297.

*М.В. Смирнов, студ.; Д.Б. Куроптев, асп.; рук. С.К. Осипов, к.т.н.  
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ХЛАДАГЕНТА В УГЛЕКИСЛОТНОЙ ТУРБИНЕ

Глобальное потепление становится одним из основных вызовов перед современным обществом. Достичь меньшего количества выбросов  $\text{CO}_2$  при производстве электроэнергии можно за счет перехода к кислородно-топливным энергетическим комплексам. Наиболее перспективным среди таких комплексов является цикл Аллама, КПД которого более 50% [1]. Существенным фактором, сдерживающим повышение КПД цикла Аллама являются потери на охлаждение углекислотной турбины, традиционным хладагентом в которой является диоксид углерода [2]. Уменьшить расход охлаждающего потока и повысить КПД цикла Аллама возможно путем перехода с углекислотного хладагента на паровую среду.

Результаты проведенного исследования (рис. 1) показали, что переход на паровое охлаждение обеспечивает снижение относительного расхода хладагента с 9-26% до 6-17% при начальной температуре углекислоты на входе в турбину 1100-1500°C.

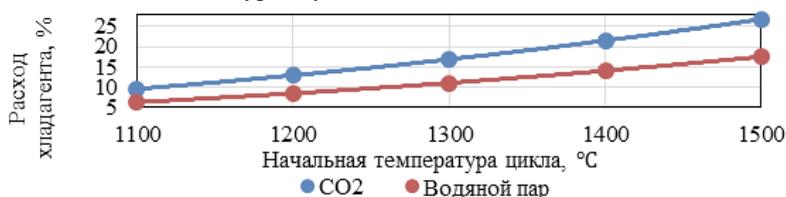


Рис. 1. Зависимости расхода хладагента от начальной температуры цикла

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка научно-технических основ создания высокотемпературных турбомашин для кислородно-топливных энергетических циклов» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программ научных исследований «Энергетика», «Электроника, радиотехника и ИТ» и «Технологии индустрии 4.0 для промышленности и робототехника» в 2020-2022 гг.).

### Библиографический список

1. R.J. Allam, etal. High efficiency and low cost of electricity generation from fossil fuels while eliminating atmospheric emissions, including carbon dioxide. EnergyProcedia 37 (2013), 1135-1149.
2. Осипов С.К., Вегера А.Н., Куроптев Д.Б., Шабалова С.И. Интеграция воздухо-разделительной установки в кислородно-топливные энергетические комплексы. Инновации. Наука. Образование. 2020, 1298-1309.

*Ю.В. Сопина, студ.;  
Е.А. Миронова, к.п.н, доцент  
(АО ТАТЭНЕРГО, КГЭУ, г. Казань)*

## **ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА РАБОТУ ПАРОГАЗОВОГО ЭНЕРГОБЛОКА**

В настоящее время введено в эксплуатацию много газотурбинных установок. Эксплуатация парогазовых установок требует точного выполнения графика электрической и тепловой нагрузки. (1)

Работа на оптовом рынке электроэнергии требует от оборудования постоянной готовности к несению нагрузки, наборам мощности в короткий период времени. Отличием при эксплуатации паровой турбины является меньшая скорость прогрева, скорости нагружения и разгрузок не более 1,9 МВт/мин.(2) Газовая турбина в зависимости от модели может разгружаться до 10 МВт/мин.

Изменение режима работы оборудования оказывает главным образом влияние на экономичность. При работе на минимальных нагрузках необходимо отслеживание работы не только основного, но и вспомогательного оборудования (насосов, градирен).(3) Любое отклонение в работе оборудования ведет к применению штрафных санкций при недовыработке тепловой или электрической энергии. Поэтому очень важно проводить диагностику надежности оборудования не только при плановых ремонтах, но и периодически при работе оборудования.

В данной работе рассмотрена проблема снижения мощности энергоблока ПГУ при старении основного и вспомогательного оборудования.

### **Библиографический список**

1. Особенности работы блока ПГУ-220 казанской ТЭЦ-2 по заданному графику Менделеев Д.И., Галицкий Ю.Я., Марьин Г.Е., Федотов А.Ю. В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи - 2018. Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах. Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. 2018. С. 307-310.
2. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность работы бинарных ПГУ Марьин Г.Е., Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р. В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи-2019. материалы юбилейной X Международной научно-технической конференции. 2019. С. 276-279.
3. Исследование влияния состояния оборудования блоков ПГУ и режимов их работы на выполнение заданного графика выработки электроэнергии. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е. В книге: ЭНЕРГИЯ-2018. Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 томах. 2018. С. 7.

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

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ СОТОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ**

Для повышения экономичности проточной части паровой турбины в нее устанавливают диафрагменные, надбандажные и концевые уплотнения, необходимые для предотвращения «холостой» утечки пара. Надбандажные уплотнения радиального типа с течением эксплуатационного времени в следствии возможных задеваний изнашиваются и перестают эффективно препятствовать «холостой» утечке пара, в результате чего повышенная часть пара вместо совершения полезной работы будет перетекать от ступени к ступени; кроме того, при значительных задеваниях возрастает вероятность разрушения бандажных лент.

Сотовые уплотнения – усовершенствованный тип уплотнений с использованием сотовой поверхности. Сотовые блоки изготавливаются из жаростойкой хромоникелевой фольги толщиной 0,05 мм и припаиваются к вставкам, из которых собирается кольцо сотового уплотнения для последующего монтажа в проточную часть турбины. [1]

Внедрение сотовых уплотнений позволяет добиться уменьшения радиальных зазоров; при срабатывании сотовых вставок из-за возможных задеваний в проточной части уплотнения будут превращаться и функционировать как осердиальные уплотнения. Применение концевых сотовых уплотнений позволяет добиться минимального обводнения масла в подшипниках турбомашин.

Замена традиционных уплотнений на сотовые приведет к упрощению процесса ремонта. Срок окупаемости сотовых уплотнений не более 1,5 – 2 лет при сроке службы не менее 10 лет.

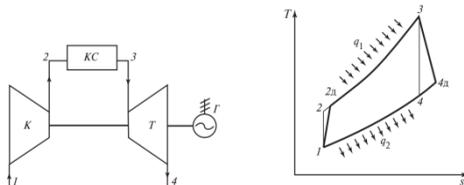
### **Библиографический список**

1. Трухний А.Д., Костюк А.Г., Трояновский Б.М. Совершенствование основных и эксплуатационных и технико-экономических показателей паровых турбин. Теплоэнергетика, 1994. – № 1

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

## ЦИКЛЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК. ПРОСТАЯ ГТУ

Принципиальная схема простой ГТУ представлена на рисунке. Воздух из окружающей среды (состояние 1) поступает в компрессор К, где адиабатно сжимается до давления  $p_2$ , обычно не превышающего 3 МПа. В камере сгорания КС происходит сгорание жидкого или газообразного топлива. Образовавшиеся в КС газы (смесь продуктов сгорания и воздуха, не участвующего в процессе окисления топлива) в состоянии 3 при температуре 1000—1800 К поступают в газовую турбину Т, где адиабатно расширяются до первоначального давления  $p_1$ , после чего выбрасываются в окружающую среду.



На рисунке выше в  $T, s$ -диаграмме показан обратимый термодинамический цикл 1-2-3-4-1, осуществляемый рабочим телом ГТУ. В обратимых циклах все процессы обратимы, поэтому адиабатные процессы сжатия в компрессоре 1-2 и расширения в турбине 3-4 обратимы, т.е. осуществляются без трения, и поэтому изэнтропны. Кроме того, будем считать состав рабочего тела по тракту ГТУ неизменным и обладающим свойствами воздуха. Это допущение только на первый взгляд может показаться странным — ведь в компрессоре сжимается воздух, а в турбине расширяются газы, представляющие собой смесь воздуха и продуктов сгорания, по своим свойствам не существенно отличающуюся от свойств воздуха. Далее, при термодинамическом анализе обычно пренебрегают потерей давления в КС и небольшим отличием давления  $p_1$  от давления  $p_4$ . Поэтому процесс 2-3 в камере сгорания представляется как изобарный подвод теплоты  $q_1$  к рабочему телу — воздуху, а процесс охлаждения уходящих газов в окружающей среде — это изобарный процесс 4-1. Таким образом, хотя схема простой ГТУ является разомкнутой, но цикл этой установки в  $T, s$ -диаграмме изображается как замкнутый. В связи с этим иногда такие установки называют газотурбинными установками, работающими по разомкнутому циклу.

*Д.Ю. Володин, студ.; рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ТИПЫ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Парогазовые установки можно классифицировать по различным признакам: по назначению, используемым ГТУ (например, энергетическим и конверсионным), способам утилизации тепловой энергии выхлопных газов ГТУ (назовем их типами ПГУ), типам используемых паровых турбин и т.д.

В утилизационных ПГУ выхлопные газы ГТУ поступают в теплообменник противоточного типа — котел - утилизатор, в котором за счет их тепловой энергии генерируется перегретый пар, направляемый в паровую турбину. В ПГУ с параллельной схемой параллельно традиционной современной ПСУ устанавливаются ГТУ и котел-утилизатор, параметры которого подбираются так, чтобы максимально использовать тепловую энергию выхлопных газов ГТУ, в меньшей степени заботясь о параметрах этого пара. В ПГУ с дожиганием дополнительное сравнительно небольшое количество природного газа сжигается в котле-утилизаторе. В ПГУ с газопаровой турбиной (ГПТ) пар, генерируемый котлом-утилизатором, направляют в камеру сгорания, где он смешивается с продуктами сгорания основного топлива. В сбросных ПГУ горячие выхлопные газы ГТУ, имеющие достаточное количество кислорода, направляются в энергетический котел традиционной паросиловой установки. В ПГУ с высоконапорным парогенератором используется котел специальной конструкции, в котором вводимое топливо сжигается под давлением.

Приведенный краткий обзор различных типов ПГУ охватывает только те из них, которые отличаются принципиально различными способами использования тепловой энергии выхлопных газов ГТУ. На практике некоторые из них не используются по различным причинам, чаще всего из-за отсутствия условий, при которых соответствующая ПГУ является рентабельной. Очень часто реализуется комбинация рассмотренных типов ПГУ.

### **Библиографический список**

1. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013 — 648 с.: ил.

*А.С. Жукова, студ.; рук. Р.Ю. Шлёнкин, ст.преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОКРЫТИЕ ПИКОВЫХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

С развитием технологий в мире идет значительное увеличение потребления электроэнергии, что ведет к созданию мощных электростанций, но также и возникновение пиковых нагрузок, которые требуется покрывать, чтобы бесперебойно снабжать потребителей электроэнергией.

Покрытие пиковой нагрузки в энергосистемах производится исходя из возможности быстрого пуска и остановки оборудования и его экономичности. Актуальной и самой главной задачей пиковых станций является наличие их в энергосистеме. Это способствует надежной работе всей системы и бесперебойному снабжению потребителей электроэнергией. Особенность этих станций заключается в возможности вывода на работу на полную мощность в течении короткого времени.

В настоящее время для покрытия пиков электрической энергии используют следующие способы: использование гидроэлектростанций; использование резерва мощности обычных паротурбинных энергоблоков; применение высокоманевренных агрегатов, таких, как пиковые и полупиковые паротурбинные, газотурбинные и парогазовые гидроаккумулирующие электростанции и др. Наиболее экономичным и эффективным является использование газопоршневых электростанций для покрытия пиков. Они способны производить сразу два вида энергии: электричество и тепло, также приносить прибыль и не зависеть от центральных сетей.

Наличие пиков электрической энергии достаточно актуальная проблема. Для ее решения необходимо разработать маневренные станции, которые будут достаточно эффективны. Наиболее перспективным является использование газопоршневых станций.

В материалах доклада представлен обзор существующих мощных газопоршневых электростанций как отечественного, так и зарубежного производителя

### **Библиографический список**

1. **Никитин А., Vuоринен А .**Пиковые и резервные ГПЭС: опыт применения в США// .:Турбины и дизели, 2007.-№4.-с22-26.

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

## **ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПАРОВЫХ ТУРБИН ТРАДИЦИОННЫХ ПТУ НАД УТИЛИЗАЦИОННЫМИ ПГУ ДЛЯ ТЭЦ**

Паровые турбины утилизационных ПГУ имеют тот же принцип, что и паровые турбины традиционных ПТУ. Они выполняются с мощностью до 160 МВт, в следствие чего имеют относительно простую конструкцию и могут быть с противодавлением, конденсационными или теплофикационными, с активной или реактивной проточной частью.

ПТ утилизационных ПГУ практически не содержат регенеративных отборов пара, и как следствие нижние половины корпусов их цилиндров не имеют патрубков отбора, что в свою приводит к снижению экономичности ПТУ, но улучшает эксплуатационные качества турбины.

В отличие от традиционной ПТУ, в которой из-за многочисленных регенеративных отборов расход пара снижается по проточной части от входа к выходу в конденсатор на 25—30 %, в ПТ утилизационной ПГУ наоборот, расход пара на последнюю ступень увеличивается на 25-30% вследствие подвода дополнительного пара из контуров НД и СД для максимальной утилизации теплоты выхлопных газов ГТУ.

Традиционные паровые турбины также, как и ПТ утилизационной ПТУ, часто работают при переменном давлении, однако температура перед ними поддерживается с высокой точностью. Это приводит к необходимости проектировать ПТ так, чтобы на всех возможных режимах влажность за последней ступенью была допустимой, исключая быстрой эрозионный износ рабочих лопаток последних ступеней.

### **Библиографический список**

1. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 648 с.: ил.

*Е.О. Коротов, студ.; рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **КОМПОНОВКИ ТУРБОАГРЕГАТОВ УТИЛИЗАЦИОННЫХ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

Основной признак, определяющий компоновку утилизационной ПГУ, — число валов, точнее, число генераторов. По этому признаку различают компоновки одновалвные, двухвалвные, трехвалвные (дубль-блоки) и многовалвные. Столь большое разнообразие компоновок вызвано стремлением производителей удовлетворить в максимальной степени те или другие требования пользователей ПГУ, поскольку каждая из компоновок обладает теми или иными преимуществами.

В одновалвных ПГУ, при работе которых валы ГТУ, генератора и паровой турбины связаны в единый валопровод, генератор может располагаться между ГТУ и паровой турбиной или устанавливаться в крайнее положение с присоединением к паровой турбине. Двухвалвные ПГУ состоят из отдельных газотурбинного и паротурбинного (ПТА) агрегатов с их генераторами, опорными и упорными подшипниками. Между роторами турбоагрегатов отсутствует кинематическая связь. Газовая турбина ГТУ выполняется с осевым или боковым выхлопом газов, из которого газы поступают в КУ. Устанавливают ГТУ на невысокий слябный фундамент, высота которого определяется положением оси входного диффузора КУ. Трехвалвная ПГУ состоит из двух ГТА с их КУ, аналогичными тем, которые используются в двухвалвной компоновке, и одного ПТА. Пар из двух КУ поступает в одну паровую турбину. Мощность паровой турбины трехвалвной ПГУ находится на уровне мощности одной ГТУ, и поэтому, как правило, ПТ выполняют с нижним выходом и устанавливают на рамный фундамент (в частности, если паровая турбина теплофикационная).

Аналогично трехвалвной можно выполнить и четырехвалвную ПГУ.

### **Библиографический список**

1. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие для вузов / А.Д. Трухнин. — М.: Издательский дом МЭИ, 2013 — 648 с.: ил.

*П.А. Минеев, маг.; рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ТУРБИНЫ ПТ-80/100-130**

В современном мире актуальной задачей является обучение оперативного персонала ТЭС и АЭС теоретическим основам принципа работы Автоматической Системы Регулирования (АСР) турбин с целью своевременного обнаружения и устранения её дефектов. В связи с этим задача научно-исследовательской работы состоит в разработке математической модели АСР для тренировки персонала станций, в частности филиала «Владимирский» ПАО «Т Плюс».

Объектом исследования являются непосредственно Автоматические Системы Регулирования паровых турбин. Предметом – разработка математической модели Регулятора Частоты Вращения Ротора (РЧВР) паровой турбины ПТ-80/100-130.

Регулятор – это техническое устройство, измеряющее регулируемый параметр (в данной работе, это частота вращения ротора турбины), сравнивающее его с заданным и преобразующее отклонение параметра в выходной импульс. [1]

На паровой турбине ПТ-80/100-130, изготовленной ЛМЗ, применение нашел гидромеханический РЧВР, принцип работы которого заключается в перемещении поршней сообщающегося с сервомотором золотника под действием центробежной силы на регулятор, что приводит к изменению положения регулирующего клапана турбины.

Основные математические зависимости [1], используемые в ходе выполнения научной работы:

$$\begin{aligned} I \frac{d\omega}{dt} &= \Delta M_T - \Delta M_G, \\ M_T &= M_T(z, \omega), \\ M_G &= M_G(\omega). \end{aligned}$$

Математическая модель разработана посредством VisualStudio на языке программирования C++.

### **Библиографический список**

1. Сергеев В.А., Регулирование турбин: Учебное пособие, - Ив: ИГЭУ, 2001.

*И.Р. Нямба, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ РАБОТЫ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КОТ-ДИВУАРА**

Энергогенерация Кот-д'Ивуар страны преимущественно состоит из гидроэлектростанций и газотурбинных ТЭС [1]. Температура наружного воздуха существенно влияет на экономичность газовой турбины (ГТ) в составе газотурбинной установки (ГТУ) [2].

Снижение температуры наружного воздуха повышает термодинамическую эффективность работы ГТУ, так как при этом снижается затрачиваемая работа собственно газовой турбины на привод компрессора ГТД для сжатия воздуха [2]. Повысить энергоэффективность ГТУ, а так же снизить влияние изменения температуры наружного воздуха на работу ГТУ возможно путем охлаждения поступающего воздуха в КВОУ ГТУ за счет внедрения системы чиллеров.

АБХМ- это абсорбционная холодильная установка (чиллер), работающая за счет тепловой энергии, а не электричества. Источником тепловой энергии может служить горячая вода, выхлопные газы, пар, природный газ и другие виды топлива [3].

Принцип действия абсорбционной холодильной машины основан на определенных свойствах хладагента и абсорбента, которые обеспечивают отвод тепла, охлаждение и поддержание необходимого температурного режима [3].

АБХМ «Thermax» прямого горения работает за счет горения природного газа или жидкого дизельного топлива. Двухступенчатая АБХМ на сжигании топлива серии 2V оснащена горелкой, которая является частью высокотемпературного генератора. В качестве источника тепла для работы АБХМ в горелке могут сжигаться различные виды жидкого или газообразного топлива. АБХМ прямого горения оснащают двухтопливной горелкой, которая позволяет быстро сменить тип потребляемого топлива с газа на дизель и обратно [3].

### **Библиографический список**

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%82-%D0%B4%E2%80%99%D0%98%D0%B2%D1%83%D0%B0%D1%80>
2. <http://ispu.ru/files/10-14.pdf>
3. <https://abxm-thermax.ru/abxm/abxm-na-gaze-i-dizele/>

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

## **РАЗРАБОТКА ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА АЛЛАМА НА ДИОКСИДЕ УГЛЕРОДА**

Проблема выбросов парниковых газов в атмосферу не стоит на месте. Мировое сообщество обеспокоено и ищет пути их снижения.

В настоящее время идет разработка перспективного цикла Родни Аллама, где в качестве рабочей среды используется диоксид углерода. Данный цикл является замкнутым и имеет достаточно высокие параметры на входе в турбину: давление и температура на входе около 300 бар и 1150 °С соответственно[1].

Высокие параметры рабочей среды (диоксида углерода) диктует свои правила в разработке турбины и вспомогательного оборудования. Проектирование турбины для данного цикла учитывает особенности как паровых, так и газовых турбин.

Целью работы автора является разработка турбоустановки мощностью 300 МВт. Ранее был произведен предварительный и детальный расчет проточной части турбины по методике [2] на основании которых были выбраны параметры ступеней по проточной части: степень реактивности 0,25, отношение скоростей 0,4 и число ступеней 7.

Следующим этапом работы является разработка вспомогательного оборудования турбоустановки. Для этого был произведен тепловой расчет цикла Родни Аллама для турбины мощностью 300 МВт и получены параметры для выбора и расчета необходимого оборудования.

Вспомогательным оборудованием в турбоустановки, работающей по циклу Аллама является: рекуперативный теплообменный аппарат, компрессор, насосы для потоков различных сред.

### **Библиографический список**

1. **R. J. Allam** and et al, "New Power Cycle Provides High Efficiency and Lower Cost Electricity Generation from Coal while Eliminating Atmospheric Emissions," COAL-GEN, 2013.

2. Рабенко, В.С., Буданов, В.А. Предварительный расчет проточной части паровой турбины: Предварительный расчет проточной части паровой турбины: учеб. Пособие/ ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 80 с.

*С.А. Павлычев, студ., инженер  
(АО «Зарубежэнергопроект», г. Иваново);  
рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЭС И АЭС НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ИХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

В настоящее время проектирование и расчеты трубопроводов ТЭС и АЭС происходят с помощью специализированных программ. Они помогают ускорить данные процессы в много раз и позволяют оперативно делать необходимые корректировки на этапе проектирования.

При проектировании станции была поставлена задача расчета: «Трубопровод системы гидроподъема роторов». Задача данного расчета заключалась в занесении геометрии системы трубопроводов со всеми параметрами и характеристиками, а также расстановка опорно-подвесной системы (ОПС) для внесения ее в 3Dмодель. Это реализуется с помощью программы «dPIPE», данная система локально заносится в 3D виде и производится расчет. Программа позволяет увидеть тепловые, сейсмические нагрузки и перемещения, визуально оценить поведение трубопровода.

При расстановке ОПС возникает необходимость поиска мест крепления. На станции достаточно много элементов и их необходимо учесть, чтобы не было нежелательных коллизий. В данный момент интересующая станция занесена в 3Dмодель с помощью программы «SmartPlant 3D», где можно увидеть всю станцию изнутри, узнать информацию о любом интересующем элементе, измерить необходимые расстояния или внести изменения в результате корректировки какой-либо системы.

После проведения расчета с расстановкой ОПС, а также необходимых перекомпоновок в «dPIPE», происходит внесение изменений в 3Dмодель с помощью программы «SmartPlant 3D», что позволяет их увидеть любому пользователю.

Станция на этапе окончания проектирования представляет собой цифровой двойник. Это позволяет управлять жизненным циклом не только трубопроводной системы, но и станции в целом: можно узнать или внести в информационную базу любую информацию по элементу, узлу, оборудованию; выдать для изготовления необходимую рабочую документацию, а в последствии изготавливать узлы для замены отработавших свой ресурс.

*В.А. Соколов, студ.; рук. Р.Ю. Шлёнкин, ст. преподаватель.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

Настоящая методика распространяется на стационарные энергетические и приводные газотурбинные установки, работающие по открытому циклу, а также на конвертированные судовые и авиационные газотурбинные двигатели, входящие в стационарную газотурбинную установку (ГТУ).

Испытания должны проводиться перед вводом ГТУ в эксплуатацию для проверки их соответствия требованиям государственных стандартов и технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Испытания ГТУ должны проводиться в следующем объеме.

1) Проверка теплотехнических показателей — определение мощности, к.п.д. или удельного расхода тепла в установленных нормальных (рабочих) условиях.

2) Проверка рабочих характеристик:

а) комплексное опробование при длительной непрерывной работе с номинальной нагрузкой;

б) проверка работы защитных устройств;

в) проверка эффективности работы системы автоматического регулирования;

г) проверка вибрационных характеристик;

д) проверка надежности пусков;

3) определение характеристик основных элементов ГТУ: турбин, компрессоров, камер сгорания, теплообменных аппаратов;

е) определение вредных выбросов в окружающую среду;

ж) определение шумовых характеристик;

Испытания, указанные в подпунктах е—ж, проводятся по согласованию между изготовителем и потребителем.

Готовность газотурбинной установки к испытаниям и сроки их начала устанавливаются по согласованию между изготовителем и потребителем.

### **Библиографический список**

1. <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/1e7/4294848028.pdf>

*А.М. Тюсин, студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ТУРБИНЫ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ВОДОРОДЕ**

В настоящее время стоит проблема выбросов газов в атмосферу. За последнее время количество выбросов резко увеличилось, т.к. общая мощность газовой генерации в мире составляла 0,11 ТВт, а в 2015 г. – около 1,29 ТВт, то к 2035 и 2070 годам она достигнет 2,49 и 4,38 ТВт соответственно. И как следствие пропорционально увеличивается и выбросы. Такое повышение вызывает озабоченность мирового сообщества. Исследования направлены на уменьшение выбросов, в частности ведется разработка энергетических установок, где в качестве рабочего тела используется водород.

Разработка энергетических установок на водороде, достаточно сложная задача. Установки должны эффективно снижать выбросы парниковых газов в атмосферу и при этом иметь высокую экономичность. Задача такой установки работать на природном газе, на смеси природного газа с водородом и на чистом водороде без каких либо снижений КПД.

В дальнейшем планируется перейти на стопроцентное использование водорода. Как следствие, общая цель проекта получение максимально экологичного источника питания на водородной основе для безуглеродного получения электроэнергии. Это позволит сократить выбросы CO<sub>2</sub> до 65,000 тонн в год при использовании турбины SGT-400 в режиме базовой нагрузки.

Данное направление новое и поэтому работа направлена на исследование и разработку высокоэкономичного оборудования для данного вида топлива. Где отдельное внимание уделено разработки газовой турбины, где рабочим телом является водород, т.к. достаточного опыта по разработки не имеет ни один производитель.

### **Библиографический список**

1. International Energy Agency. World Energy Outlook 2018. <https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2018>

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

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ГТУ**

Газотурбинные установки работают по определенному графику, называемому диспетчерским и устанавливающему вырабатываемую мощность и время, когда эта мощность должна быть выработана. Чтобы обеспечивать работу в таком режиме, ГТУ должны быть надежны. Вместе с тем заданная мощность должна вырабатываться с наименьшими затратами, т.е. ГТУ должны быть экономичными. Надежной считается установка, способная без перерывов, вызванных неполадками и авариями, устойчиво работать в течение межремонтного периода на заданных режимах.

Для планирования выработки мощности необходимо иметь количественную оценку надежности. Одной из таких оценок является коэффициент готовности. Газотурбинные установки не все календарное время находятся в работе. Часть времени они стоят в резерве. Кроме того, обязательно выделяется время, необходимое для плановых обслуживания, среднего и капитального ремонтов. От надежности установки зависит время вынужденного простоя в результате аварий и неполадок.

Коэффициент готовности — представляет собой вероятность работоспособности ГТУ в периоды между остановами на плановые ремонты и обслуживание. Коэффициент технического использования представляет собой вероятность работоспособности ГТУ в течение заданного календарного времени. Наиболее часто условия эксплуатации газотурбинных установок оцениваются коэффициентами рабочего времени и использования установленной мощности. Коэффициент безотказности пусков определяет долю удачных пусков в их общем числе.

Установлены нормы на коэффициенты, определяющие надежность ГТУ. Так, коэффициенты готовности и технического использования энергетических ГТУ соответственно составляют 0,98 и 0,92, а наработка на отказ — около 3000 ч. Коэффициент готовности пиковых ГТУ равен 0,97—0,98.

Своевременная очистка проточной части компрессоров и турбин, а также трактов теплообменных аппаратов позволяет поддерживать их КПД на заданном уровне и уменьшить потери. Утечки воздуха и газа, топлива, масла и воды обнаруживают при внешнем осмотре ГТУ и принимают срочные меры по устранению неплотностей.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. Тепловые электрические станции

<i>Базин Д.А.</i> Методы и способы повышения эффективности охлаждающей способности башенной градирни ТЭС; <i>рук. Гинниятулин Б.А.</i> .....	5
<i>Баймяшкина О.С.</i> Термическая деаэрация воды на районных котельных для нужд централизованного теплоснабжения; <i>рук. Безруков Р.Е.</i> .....	6
<i>Бектемисов А.А., Мануленко А.</i> Влияние теплопроизводительности котельного агрегата на коэффициент избытка воздуха в вихревой зоне топки; <i>рук. Ермоленко М.В.</i> .....	7
<i>Водениктов А.Д.</i> О факторах, влияющих на концентрацию кислорода в основном конденсате паровых турбин; <i>рук. Чичирова Н.Д.</i> .....	8
<i>Камалова Р.И., Хусаинова Д.Ф., Малешина М.А.</i> Деаэрация воды на ТЭС уходящими газами котлоагрегатов; <i>рук. Замалеев М.М.</i> .....	9
<i>Мирсалихов К.М.</i> Определение оптимальных параметров выхлопных труб ГТУ и способы их модернизации; <i>рук. Чичирова Н.Д., Грибков А.М.</i> .....	10
<i>Мухаметзянова А.Р.</i> Способы модернизации ГРЭС мощностью 2000 МВт; <i>рук. Низамова А.Ш.</i> .....	11
<i>Мухаметов А.Б.</i> Применение пластин сложных форм для снижения шума тягодутьевых машин; <i>рук. Тараторин А.А.</i> .....	12
<i>Белов М.А.</i> Нормирование затрат тепловой энергии на отопление и вентиляцию главного корпуса блочной ТЭС; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i> ....	13
<i>Галкина Н.С.</i> Перспективы развития ветроэнергетики в России; <i>рук. Зиновьева Е.В.</i> .....	14

<i>Думов В.Э.</i> Особенности применения АБХМ в цикле ГТУ; <i>рук. Зорин М.Ю.</i> .....	15
<i>Ерцев М.Е.</i> Совершенствование эксплуатационной документации по ПВД турбины Т-100-130; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i> .....	16
<i>Зарубина Е.А.</i> Об оценке влияния мероприятий по уменьшению затрат электроэнергии на собственные нужды на расход топлива энергоблоками ГРЭС; <i>рук. Ледуховский Г.В., Рябова Е.И.</i> .....	17
<i>Зиновьева А.С., Шишков А.С.</i> Проектирование струйно-барботажного деаэратора на рабочее давление 1,5 бар; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i> .....	18
<i>Иванов Н.А., Кокулин И.А.</i> Реконструкция оборудования Энгельской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	19
<i>Кокулин И.А., Сударкин Е.И.</i> Эффективность внедрения концессионных соглашений в сфере теплоснабжения; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	20
<i>Кокулин И.А.</i> Негативные последствия модернизации котла на пусковые режимы; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	21
<i>Кокулин И.А., Забиронин А.М.</i> Эффективность перераспределения тепловых нагрузок между тепловыми электрическими станциями; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	22
<i>Корепов А.П.</i> Расчет поправок к основным энергетическим характеристикам турбоагрегата ПТ-135/165-130/15 на изменение схемы регенерации низкого давления и конструкции ЧНД; <i>рук. Горшенин С.Д.</i> .....	23
<i>Крюков Н.А.</i> Модернизация системы уплотнений паровой турбины К- 300-240 ЛМЗ; <i>рук. Михеев П.Г.</i> .....	24
<i>Лихачева К.А.</i> Разработка интерактивного обучающего модуля по энергоблоку ТЭС; <i>рук. Панков С.А.</i> .....	25
<i>Николаева В.А., Сударкин Е.И.</i> Реконструкция системы теплоснабжения медногорской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин Е.В.</i> .....	26

<i>Попова А.В.</i> Работа теплосети ГРЭС в условиях аварийной подпитки; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i> .....	27
<i>Прибылина Ю.А.</i> Расчет режимной характеристики экономического вакуума для турбины К-800-240 с циркуляционными насосами типа ОПВ; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i> .....	28
<i>Прозорова Д.А.</i> Об оптимизации загрузки двух однотипных теплофикационных турбин; <i>рук. Ледуховский Г.В., Консов А.Я.</i> .....	29
<i>Рыбин С.А.</i> Разработка энергетических характеристик одноступенчатой противодавленческой турбины D-R C5DS-II производства фирмы Siemens; <i>рук. Горшенин С.Д.</i> .....	30
<i>Рыженкова Н.А.</i> Использование испарителей на ТЭС для борьбы с дефицитом воды в Крыму; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	31
<i>Саниев С.Б.</i> О разработке нормативных энергетических характеристик парового котла; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i> .....	32
<i>Светушков А.В.</i> Повышение эффективности работы старых котлов; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	33
<i>Собакин Г.А.</i> Методы повышения эффективности работы старых котельных; <i>рук. Барочкин Е.В.</i> .....	34
<i>Угрюмов А.Д.</i> О вариантах реконструкции промышленной ТЭЦ низкого давления на базе оборудования паросилового, газотурбинного, газопоршневого циклов; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i> .....	35
<i>Филатьев Д.С.</i> Реконструкция пылесистемы с шаровой барабанной мельницей; <i>рук. Михеев Г.Г.</i> .....	36
<i>Хрящев А.Д.</i> Оценка эффективности системы парораспределения турбины на примере ЦВД К-500-23,5 ЛМЗ; <i>рук. Панков С.А.</i> .....	37
<i>Шабулкина А.С.</i> Реконструкция оборудования котлотурбинного цеха Пермской ТЭЦ-14; <i>рук. Зорин М.Ю.</i> .....	38

<i>Шмаков Н.И.</i> Проект пароснабжения турбопривода ОР-12ПМ с коллектора собственных нужд станции; <i>рук. Панков С.А.</i> .....	39
<i>Секция 2. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и промышленных предприятий</i>	
<i>Ахметшин М.Р.</i> Регистрация антропогенных газовых выбросов при сжигании отходов нефтепереработки; <i>рук. Стрижак П.А.</i> .....	43
<i>Бабилов О.Е., Власов С.М.</i> Сточные воды комбинированных водоподготовительных установок ТЭС; <i>рук. Власова А.Ю.</i> .....	44
<i>Бабилов О.Е., Власова А.Ю.</i> Исследование микробиологических загрязнений ионнообменных технологий на филиале АО «ТАТЭНЕРГО» Казанская ТЭЦ-1; <i>рук. Власов С.М.</i> .....	45
<i>Баталова А.А.</i> Подготовка воды для парогазовых установок с котлами-утилизаторами; <i>рук. Чичиров А.А.</i> .....	46
<i>Бодров И.А.</i> Повышение эффективности работы электростанций путем коррекции водно-химического режимов; <i>рук. Еремина Н.А.</i> .....	47
<i>Галимова А.Р., Зарипов А.Р., Бадретдинова Г.Р.</i> Исследование экспериментальных вставок в отстойнике для эффективного разделения водонефтяной эмульсии; <i>рук. Зинуров В.Э.</i> .....	48
<i>Гареева К.А., Шарифуллин И.М.</i> Анализ работоспособности системы водоподготовки Казанской ТЭЦ-2; <i>рук. Власов С.М.</i> .....	49
<i>Гильфанов Б.А.</i> Метод потенциометрического анализа теплоносителей ТЭС; <i>рук. Чичирова Н.Д.</i> .....	50
<i>Зарипова Г.В., Исхаков И.Ф., Маясова А.О.</i> Экспериментальное исследование гофрированных вставок для разделения водонефтяной эмульсии; <i>рук. Попкова О.С., Дмитриева О.С.</i> .....	51
<i>Иванова У.В., Власова А.Ю.</i> Анализ применяемых ингибиторов для промывки систем отопления; <i>рук. Власов С.М.</i> .....	52
<i>Менделеев Д.И., Марьин Г.Е.</i> К вопросу качества топливного газа газотурбинной установки; <i>рук. Осипов Б.М.</i> .....	53

<i>Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р., Марьин Г.Е.</i> Вопросы эксплуатации и модернизации систем оборотного охлаждения парогазовых установок.....	54
<i>Тассо Г.С.</i> Состав сточных вод после химических очисток теплоэнергетического оборудования; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	55
<i>Цаплина Т.А.</i> Анализ систем обеспечения ВХР Курской АЭС-2; <i>рук. Карпычев Е.А.</i> .....	56
<i>Авдеева Е.В.</i> Использование программы IMSDESIGN для технологического расчета установок обратного осмоса; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	57
<i>Артюхова П.Р.</i> Модернизация типовой водоподготовительной установки; <i>рук. Ларин Б.М.</i> .....	58
<i>Джигора А.В.</i> Техничко-экономическое сравнение вариантов, разрабатываемых ВПУ подпитки теплосети ивановской ТЭЦ-3; <i>рук. Карпычев Е.А.</i> .....	59
<i>Ильина А.Б.</i> Устранение разливов нефтепродуктов; <i>рук. Шувалов С.И., Зайцева Е.В.</i> .....	60
<i>Касимова А.Д.</i> Проблемы очистки сточных вод на очистных сооружениях промышленных предприятий; <i>рук. Ларин А.Б.</i> .....	61
<i>Короткова А.А.</i> Программа “WAVE” — возможности для проектирования ВПУ; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	62
<i>Кубасова А.М.</i> К вопросу о применении установок обратного осмоса для подготовки питательной воды барабанных котлов; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	63
<i>Лебедева К.М.</i> Применение автоматического анализатора "Лидер-АПК" для контроля воды и пара на АЭС; <i>рук. Ларин Б.М.</i> .....	64
<i>Логинова А.Ю.</i> Технологический расчёт мероприятий по ресурсосбережению при водоподготовке на ТЭС; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	65

---

<i>Носов А.Е.</i> Выполнение технологического расчета установки обратного осмоса при помощи программы «NANOTECH PRO»; <i>рук. Бушуйев Е.Н.</i> .....	66
<i>Падурец А.И.</i> Входной контроль ионитов на АЭС; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	67
<i>Палкин А.М., Мухин Р.А.</i> Особенности ведения воднохимического режима при переменном качестве питательной воды; <i>рук. Виноградов В.Н.</i> .....	68
<i>Рознова Э.А.</i> Анализ систем обеспечения ВХР Ивановской ТЭЦ-2 в условиях возможной оптимизации нагрузки; <i>рук. Карпычев Е.А.</i> .....	69
<i>Чельшьева А.В.</i> Совершенствование водно-химического режима систем оборотного охлаждения; <i>рук. Ларин А.Б.</i> .....	70
<i>Черкашина А.Р.</i> Утилизация радиоактивных отходов АЭС; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	71
<i>Шалеев Е.М.</i> О возможности применения PUROTECH BW4 для ВХР барабанных котлов; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	72

### *Секция 3. Химия в энергетике*

<i>Сахингареев Д.Р.</i> Рациональное использование низкопотенциальной тепловой энергии при помощи природоподобных аккумуляторов; <i>рук. Морозов А.В.</i> .....	75
<i>Соколова Д.Д.</i> Регенерация ионита в фильтрах "Барьер"; <i>рук. Хрипкова Л.Н.</i> .....	76
<i>Карташов И.А.</i> Системы технического водоснабжения ТЭС; <i>рук. Ионов А.В.</i> .....	77
<i>Родионова Д.А.</i> Изучение загрязненности речной воды в ивановской области (на примере реки Шача); <i>рук. Иванова Н.Г.</i> .....	78
<i>Скребов Н.А.</i> Некоторые аспекты применения кремния в солнечных панелях; <i>рук. Ярунина Н.Н.</i> .....	79

Шустов Д.О. , Иванов А.С. Показатели качества природной воды Ивановской и Костромской областей; рук. Хрипкова Л.Н.....80

#### Секция 4. Теоретические основы теплотехники

Адылканова А.Ж., Мейрханова А.Е. Эксергетический анализ при оценке работы котельного оборудования; рук. Степанова О.А.....83

Нурпаисова Г.С., Каримжанова А.О. Исследование эффективности работы холодильных машин при использовании различных холодильных агентов; рук. Ермоленко М.В.....84

Умыржан Н.Н., Мануленко А.И., Умыржан Т.Н. К вопросу эффективности пористого металла в теплообменных аппаратах; рук. Касымов А.Б. ....85

Владимиров Н.С. Решение производственной задачи по обеспечению необходимой температуры охлаждающей воды; рук. Созинова Т.Е...86

Гадалова Е.А., Светушков И.И. Оценка эффективности теплообменного аппарата; рук. Бухмиров В.В.....87

Гуминская С.И. Построение фазовых диаграмм воды и водяного пара; рук. Ракутина Д.В., Пекунова А.В.....88

Еремеев А.С. Экспериментальное определение КПД термоэлектрогенератора; рук. Ракутина Д.В.....89

Кирдяшкина А.Е. Разработка программного комплекса для оценки состояния вычислительного процессора радиоэлектронной аппаратуры; рук. Корочкина Е.Е.....90

Кокулин И.А. Зеркала Козырева. Миф или реальность?; рук. Бухмиров В.В.....91

Луговкин Д.С. Определение коэффициента теплоотдачи вертикального цилиндра методом регулярного режима; рук. Родионова М.В.....92

Павлычев С.А. Закон теплопроводности открыл Био или Фурье?; рук. Бухмиров В.В. ....93

<i>Садчиков А.А., Гаськов А.К.</i> Область применения тонкоплёночных теплоизоляционных покрытий; <i>рук. Бухмиров В.В.</i> .....	94
<i>Садчиков А.А.</i> Особенности математического моделирования биогазовой установки; <i>рук. Бухмиров В.В., Родионова М.В.</i> .....	95
<i>Светушков И.И., Гадалова Е.А.</i> Энергетическое обследование зданий в Тюменской области; <i>рук. Гаськов А.К.</i> .....	96
<i>Фефилов А.Д.</i> Энтропия, что это?; <i>рук. Чухин И.М.</i> .....	97
<i>Фролов Н.В.</i> Энтальпия, зачем ее придумали?; <i>рук. Чухин И.М.</i> .....	98
<i>Шимотюк А.П.</i> Разработка замкнутой жидкостной системы охлаждения каландровой линии; <i>рук. Корочкина Е.Е.</i> .....	99

### *Секция 5. Промышленная теплоэнергетика*

<i>Ванюшкин В.Д.</i> Повышение уровня ресурсосбережения при пиролизе отходов шин; <i>рук. Попов С.К.</i> .....	103
<i>Галимова А.Р., Зарипов А.Р., Маясова А.О.</i> Исследование сепарационного устройства на промышленном предприятии с покрасочными камерами; <i>рук. Попкова О.С., Мадышев И.Н.</i> .....	104
<i>Зинуров В.Э., Петрова И.В.</i> Численное моделирование работы классификатора с соосно расположенными трубами; <i>рук. Дмитриев А.В.</i> .....	105
<i>Измайлова Е.В., Гарнышова Е.В.</i> Определение изменения частот собственных колебаний трубопровода при нагружении давлением; <i>рук. Ваньков Ю.В.</i> .....	106
<i>Керимбекова С.А., Волков Р.С.</i> Влияние концентрации капель жидкости в аэрозольном облаке на скорости их испарения; <i>рук. Стрижак П.А.</i> .....	107
<i>Кокунин А.И.</i> ; Разработка современной системы вентиляции для многоквартирного жилого дома; <i>рук. Евгеньев И.В.</i> .....	108

- Мелеховец М.С., Царюнов А.В.* Кинетика сушки осадочного ила промышленных сточных вод; *рук. Печенегов Ю.Я.*.....109
- Сагадеева Л.А.* Исследование технических характеристик теплоизоляционных материалов трубопроводов систем теплоснабжения; *рук. Звонарева Ю.Н.*.....110
- Швец А.С.* Определение оптимального времени нагрева биомассы при микроволновом пиролизе; *рук. Стрижак П.А.*.....111
- Анцибор П.В.;* Повышение эффективности энергоснабжения птицефабрики; *рук. Васильев С.В.*.....112
- Быкова И.А.* О необходимости реконструкции системы вентиляции корпуса "Д" ИГЭУ; *рук. Смирнов Н.Н.*.....113
- Гусева В.М.* Определение энергоэффективности установки по переработке деревянных шпал; *рук. Габитов Р.Н.*.....114
- Кряжева А.А., Кувшинова П.А.* Утилизация теплоты сточных вод; *рук. Коновалов А.В.* .....115
- Обухов Д.М.* Анализ критериев энергетической эффективности тепловой защиты зданий; *рук. Банников А.В.*.....116
- Осипов И.В.* Повышение эффективности конвективной сушильной установки; *рук. Банников А.В.*.....117
- Потемкина В.О.* Организация дистанционного мониторинга режима отопления жилых и общественных зданий; *рук. Сенников В.В.*.....118
- Садертинова В.А.* Аналитический расчет термодинамических и теплофизических свойств паровоздушной смеси; *рук. Козлова М.В.*.....119
- Сафонова М.В.* Модернизация паровой котельной для повышения энергетической эффективности ее работы; *рук. Васильев С.В.*.....120
- Франтов Н.А.* Использование вторичных энергоресурсов при сушке древесины; *рук. Коновалов А.В.*.....121

*Секция 6. Энергоресурсосбережение*

- Антонов Д.В.* Микро-взрыв и диспергирование многокомпонентных капель топлив; *рук. Стрижак П.А.*.....125
- Белов А.С.* Перспективы использования существующих геотермальных скважин Крыма; *рук. Бекиров Э.А.*.....126
- Гайдукова О.С.* Численное исследование закономерностей процесса зажигания газовых гидратов; *рук. Стрижак П.А.*.....128
- Гапоненко С.О.* Анализ методов и средств неразрушающего контроля технического состояния трубопроводов.....129
- Парфенов Г.И., Трухин И.С., Румянцев А.С.* Моделирование процесса теплопередачи через стеклопакет; *рук. Захаров В.М., Смирнов Н.Н.*.....130
- Парфенов Г.И., Трухин И.С., Румянцев А.С.* Динамика изменения температуры воздуха в помещении при применении дежурного режима отопления; *рук. Пыжов В.К., Смирнов Н.Н.*.....131
- Урвачев А.В.* Автоматизация расчета технологической схемы получения биогаза; *рук. Васильев С.В.*.....132

*Секция 7. Автоматизация технологических процессов*

- Гордеев В.В.* Разработка учебно-лабораторного стенда для изучения процесса перекачки нефти; *рук. Штанг А.А.*.....135
- Капустина А.И.* Интеграция систем программного и математического обеспечения для моделирования и исследования автоматизированных систем управления; *рук. Блинов О.В.*.....136
- Лынев В.В., Леднев В.А., Мишин Д.С.* Исследование коммуникационного протокола промышленной автоматизации MODBUS с помощью эмуляторов электронных устройств; *рук. Ставров С.Г.* .....137

Хальзов М.А., Матвеева А.А., Кочкуров А.Р. Проектирование базы данных проводных сигналов, связывающих внешние устройства с ПТК АСУТП; рук. Ставров С.Г.....138

Шинкевич Д.А., Зыкова Ю.О. Моделирование статических характеристик датчиков температуры; рук. Кочетков А.Е.....139

### Секция 8. Паровые и газовые турбины

Водениктов А.Д. Проблемы эксплуатации конденсационных установок; рук. Минибаев А.И.....143

Баранов А.А. Влияние переменных нагрузок на работу вспомогательного оборудования парогазовых установок; рук. Маслов И.Н. ....144

Вьюгова К.Д. О применении воздухоподогревателей для газотурбинных установок; рук. Минибаев А.И.....145

Ковалёв Д.С. Исследование ПГУ на метано-водородной смеси; рук. Киндра В.О. ....146

Смирнов М.В. Исследование влияния изменения хладагента в углекислотной турбине; рук. Осипов С.К.....147

Сопина Ю.В. Влияние состояния основного и вспомогательного оборудования на работу парогазового энергоблока; рук. Миронова Е.А. ....148

Абрамов А.Д. Повышение надежности и экономичности проточной части паровой турбины за счет внедрения сотовых уплотнений; рук. Григорьев Е.Ю. ....149

Блохин В.П. Циклы газотурбинных установок. Простая ГТУ; рук. Буданов В.А. ....150

Володин Д.Ю. Типы парогазовых установок и их основные характеристики; рук. Киселев А.И.....151

---

<i>Жукова А.С.</i> Покрытие пиковых нагрузок электроэнергии за счет газопоршневых электростанций; <i>рук. Шлёнкин Р.Ю.</i> .....	152
<i>Ивков Е.А.</i> Преимущества и недостатки паровых турбин традиционных ПТУ над утилизационными ПГУ для ТЭЦ; <i>рук. Буданов В.А.</i> .....	153
<i>Коротов Е.О.</i> Компоновки турбоагрегатов утилизационных парогазовых установок; <i>рук. Киселев А.И.</i> .....	154
<i>Минеев П.А.</i> Математическое моделирование процесса автоматического регулирования частоты вращения ротора турбины ПТ-80/100-13; <i>рук. Киселев А.И.</i> .....	155
<i>Нямба И.Р.</i> Повышение энергетической эффективности газотурбинных установок для работы в климатических условиях Кот-д'Ивуара; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i> .....	156
<i>Павлычев С.А.</i> Разработка вспомогательного оборудования для термодинамического цикла Аллама на диоксиде углерода; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i> .....	157
<i>Павлычев С.А.</i> Особенности проектирования трубопроводов ТЭС и АЭС на современном этапе с возможностью реализации их цифровых двойников; <i>рук. Григорьев Е.Ю.</i> .....	158
<i>Соколов В.А.</i> Методы испытаний газотурбинных установок; <i>рук. Шлёнкин Р.Ю.</i> .....	159
<i>Тюсин А.М.</i> Разработка турбины работающей на водороде; <i>рук. Виноградов А.Л.</i> .....	160
<i>Фетисова А.А.</i> Оценка качества работы ГТУ; <i>рук. Буданов В.А.</i> .....	161

# **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

## **ШЕСТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙКАЯ (ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ) НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ЭНЕРГИЯ-2021»**

### **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ТОМ 1**

*Печатается в авторской редакции*

Подписано в печать 02.04.2021. Формат 60x84 1/16.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,11  
Тираж 100 экз. Заказ № 21.  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический  
университет им. В.И. Ленина»  
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.