



# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

# ЭНЕРГИЯ-2026

ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
(ТРИНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

13-15 мая 2026 г.  
г. Иваново

ТОМ 1

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

---

# **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

## **«ЭНЕРГИЯ-2026»**

**ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
(ТРИНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**г. Иваново, 13-15 мая 2026 года**

## **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**ТОМ 1**

**ИВАНОВО**

**ИГЭУ**

**2026**

УДК 620 + 621 + 628

ББК 31

Т 34

**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА** // Двадцать первая всероссийская (тринадцатая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2026»: материалы конференции. В 6 т. Т. 1. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2026. – 174 с.

ISBN 978-5-00062-728-0

ISBN 978-5-00062-724-2 (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, к.т.н., доц. **И.Н. СУЛЫНЕНКОВ**

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

**Члены оргкомитета по направлению:**

декан теплоэнергетического факультета, к.т.н., доц. **С.Б. ПЛЕТНИКОВ**; зав. кафедрой тепловых электрических станций, к.т.н., доц. **С.Д. ГОРШЕНИН**; зав. кафедрой химии и химических технологий в энергетике, к.т.н., доц. **Н.А. ЕРЕМИНА**; зав. кафедрой теоретических основ теплотехники, д.т.н., доц. **Е.Н. БУШУЕВ**; 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 паровых и газовых турбин, к.т.н., доц. **А.Л. ВИНОГРАДОВ**; заместитель декана ТЭФ по научной работе к.т.н. **Е.В. ЗИНОВЬЕВА**.

**СЕКЦИЯ 1**

**ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

Председатель

к.т.н., доцент **Горшенин С. Д.**

Секретарь

д.т.н., доцент **Барочкин А.Е.**

*А.Ф. Рахимбаев, студ.; Ю.Ф. Рахимбоев, студ.;  
рук. Е.В. Иванова, ст. преп.  
(ТФ НИЯУ МИФИ, г. Ташкент)*

## **УЛЬТРАСВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ ПАРОВЫЕ БЛОКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА УГЛЕ: ОПЫТ КИТАЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ УЗБЕКИСТАНА**

Узбекистан сталкивается с необходимостью ускоренной трансформации генерирующих мощностей: к 2030 году установленная мощность должна возрасти с 12,9 до 29,3 ГВт, а потребление газа в электроэнергетике — сократиться с 16,5 до 12,1 млрд м<sup>3</sup>/год. Резкоконтинентальный климат провоцирует критическое падение давления в газовых магистралях в зимние периоды пиковой нагрузки, что создаёт системные угрозы энергетической безопасности страны.

Переход к ультрасверхкритическим (УСК) технологиям позволяет поднять КПД угольных блоков с 32–34% (докритические) до 45–46% и снизить удельные выбросы CO<sub>2</sub> с 1,04 до ~0,78 тCO<sub>2</sub>/МВт·ч. Эталонном является электростанция Пиншань II (КНР, 1350 МВт, 33 МПа, 650/670 °C): КПД 49,8% достигнут кросс-компаундной компоновкой [3]. В 2025 г. начато строительство первого блока 1000 МВт при 35 МПа и 650 °C со снижением расхода угля на 10%.

Ангренский бурый уголь — основной твёрдый энергоноситель страны — обладает характеристиками (таблица 1), исключающими его применение в классических факельных УСК-котлах.

**Таблица 1 — Характеристики Ангренского угля и влияние на выбор технологии**

<b>Характеристика</b>	<b>Значения</b>	<b>Влияние на технологию</b>
Зольность (Ad)	35–60%	Шлакование топки; абразивный износ. Исключает факельный УСК-котёл → обязателен переход на ЦКС.
Влажность (Wr)	4–31%	Снижение КПД; срыв горения. В ЦКС влага безопасно испаряется в инертном кипящем слое.
Содержание серы (Srt)	0,4–3,7%	Коррозия; выбросы SO <sub>2</sub> . ЦКС связывает до 95% SO <sub>2</sub> известняком прямо в топке (in-situ).

В декабре 2024 г. завершены 168-часовые испытания первого в мире УСК ЦКС-блока 660 МВт на станции Биньчан (КНР), утилизирующего 2 млн т/год низкосортного угля. Это подтверждает техническую жизнеспособность симбиоза УСК-параметров с гидродинамикой ЦКС и обосновывает адаптацию данной технологии для Ангренской и Ново-Ангренской ТЭС.

*К.С. Калмыков, асс.; С.О. Кравченко, асс.;  
рук. И.Д. Аникина, к.т.н, доцент  
(СПбПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург)*

## ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА УПКМ КАК ОСНОВА РАСЧЁТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В условиях расширения направлений комбинированного производства на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) одним из перспективных решений является включение в их состав установки паровой конверсии метана (УПКМ) для выработки водорода. Для построения её имитационной модели предварительно формируется функциональная схема, отражающая основные стадии процесса, состав оборудования, а также структуру материальных и тепловых потоков.

В отличие от автономной УПКМ, схема установки, интегрируемой в состав ТЭЦ, может быть упрощена, поскольку часть функций и потоков обеспечивается существующей стационарной инфраструктурой. В связи с этим функциональная схема интегрированной УПКМ формируется с учётом её технологической связи с основным циклом станции.



**Рисунок 1** – Функциональная схема ПКМ для модели УПКМ в составе ТЭЦ: CH<sub>4</sub> – метан; CO – оксид углерода; CO<sub>2</sub> – углекислый газ.

Таким образом, разработка функциональной схемы является обязательным этапом исследования, обеспечивающим корректную постановку задачи моделирования и последующую оценку возможности интеграции УПКМ в состав ТЭЦ.

### Библиографический список

1. Improving the efficiency of CHP plants through the combined production of hydrogen, heat and electricity / K. S. Kalmykov, D. L. Kolbantseva, D. A. Treschev [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – Vol. 51. – P. 49–61.
2. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям: ИТС 2–2019. – М.: Бюро НДТ, 2019. – 818 с.

*А.В. Таран, студ.; К.С. Сыбатова, студ.;  
рук. Г.А. Рудченко, к.э.н., доц.  
(ГГТУ, г. Гомель)*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В настоящее время перспективными направлениями развития теплоэнергетики с целью кардинального повышения энергоэффективности являются следующие: парогазовые установки с внутрицикловой газификацией угля, которые обеспечивают использование твердого топлива в высокоэффективном комбинированном цикле с предварительным преобразованием угля в синтез-газ, что минимизирует выбросы и достигает КПД до 55–60%; водородные пароперегреватели, использующие высокотемпературное сжигание водорода с кислородом, позволяющие повышать температуру пара до 1400–1700 °С, обеспечивая электрический КПД установок свыше 62%.

Сверхкритический флюид (СКФ) представляет собой состояние вещества, при котором температура и давление превышают критические значения, что приводит к исчезновению межфазовой границы между жидкостью и газом, формируя единую сверхкритическую фазу. Эффективность цикла напрямую зависит от начальных параметров пара – температуры и давления. Переход за так называемую критическую точку воды (22,1 МПа и 374°С) позволяет радикально изменить свойства рабочего тела: исчезает фаза кипения с образованием пузырьков, вода переходит в сверхкритическое состояние.

Таким образом, технологическая трансформация теплоэнергетики на базе сверхкритических технологий представляет собой революционное совершенствование, обеспечивающее существенный рост энергоэффективности при использовании органического топлива, достигая электрических КПД 47–50% и выше.

### **Библиографический список**

**1. Сухоруков, Ю. Г.** Повышение эффективности паротурбинных установок на супер- и ультрасверхкритические параметры пара. – СПб.: СПбГПУ, 2024. – 220 с. – URL: <https://elibr.spbstu.ru/dl/2/r24-75.pdf> (дата обращения: 15.03.2026).

*В.В. Гаврилов, асп.; рук. Я.А. Владимиров, к.т.н., доц.  
(СПбПУ, г. Санкт-Петербург)*

## **ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПО ЗАКРЫТЫМ СХЕМАМ ГВС**

Развитие теплоснабжения тесно связано с сокращением издержек на транспорт теплоносителя. Другим стимулирующим модернизацию фактором являются законодательные изменения. Одним из последних требований к системам теплоснабжения является обязательное подключение новых потребителей горячей воды по закрытой схеме [1]. Таким образом, за подключением новых потребителей к открытой системе следует неизбежное формирование смешанной системы ГВС.

Для анализа режимов работы такой схемы выполнены расчеты теплогидравлической модели города Кировска Ленинградской области с открытой системой ГВС в программном комплексе ГИС Zulu при переклещении части абонентов на закрытую схему. Для этих потребителей было сохранено элеваторное присоединением систем отопления, а система ГВС подключалась по одноступенчатой и двухступенчатой схемам. Расчет проведен для средне-зимнего режима работы ТЭЦ с температурой прямой сетевой воды 93°C.

Результаты расчета показали, что подключение четверти потребителей по закрытой одноступенчатой схеме ГВС приведет к увеличению располагаемого напора на 15,2%, расхода в подающем теплопроводе на 3,3%, в обратном – на 7,5%. При использовании закрытой двухступенчатой схемы ГВС для тех же абонентов располагаемый напор увеличится на 6,3%, расход в прямом трубопроводе снизится на 3,3%, в обратном – на 0,7%.

Таким образом, использование двухступенчатой схемы позволяет снизить располагаемый напор теплосети по сравнению с одноступенчатой схемой. Это объясняется более глубоким охлаждением сетевой воды при двухступенчатой схеме, соответственно уменьшается расход сетевой воды для подогрева воды ГВС, становится меньше гидравлическое сопротивление системы и располагаемый напор. Таким образом, для гидравлических режимов смешанных тепловых сетей использование двухступенчатой закрытой схемы ГВС для новых потребителей более предпочтительно.

### **Библиографический список**

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

*А.А. Грызунов, маг.; рук. Е.В. Зайцева, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, R&ID-ДИАГРАММЫ И СПЕЦИФИКАЦИИ С ПОДБОРОМ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГАЗОВОЗДУШНОГО ТРАКТА БАРАБАННОГО КОТЛА ТГМ-104**

Создание технических схем является необходимым и актуальным для понимания принципа управления, а также способа измерения, передачи и контроля значений технологических параметров объекта при использовании технических средств автоматизации. Такие документы схематично изображают прохождение технологического процесса в объекте с соответствующим основным и вспомогательным оборудованием и элементами автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Существует множество вариантов и технических решений по выполнению данной документации. Технические документы выполняются на основе единых стандартов оформления.

Для создания эффективной системы автоматизации необходимо подробно изучить технологический процесс и характеристики объекта. Разработаны функциональная схема автоматизации и спецификация с подбором оборудования по российскому стандарту выполнения, R&ID-диаграмма по международному стандарту KKS для газовоздушного тракта барабанного котла ТГМ-104 при двухконтурной автоматической системе регулирования расхода общего воздуха (АСР РОВ) по схеме “топливо-воздух”. Это определяет функциональную структуру, объем автоматизации газовоздушного тракта и предназначено для последующей наладки и эксплуатации энергетического объекта.

### **Библиографический список**

1. Демин А.М., Плетников С.Б. Автоматизация котельного оборудования тепловых электростанций: Учеб. пособие / ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". – Иваново, 2013. – 180 с.
2. ГОСТ Р 21.101-2020. Основные требования к проектной и рабочей документации.
3. ГОСТ 21.408-2013. Схемы автоматизации.

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

## **УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛА В КОНДЕНСАТОРЕ ТУРБИНЫ НА ТЭЦ**

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

Эти потери приводят к снижению тепловой экономичности турбин с регулируемым отбором пара.

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

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

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

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

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

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПГУ НА ОСНОВЕ НОРМАТИВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК С ДВУХУРОВНЕВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ПО ДАННЫМ АСУ ТП**

Для решения задач планирования и оптимизации режимов работы энергоблоков, в том числе ПГУ, требуются их математические модели (ММ), обладающие приемлемой точностью во всем диапазоне нагрузок оборудования. На практике часто применяются ММ, основанные на нормативных энергетических характеристиках (НЭХ) оборудования. Однако для обеспечения требуемых показателей точности таких ММ необходима разработка соответствующих методов их идентификации по эксплуатационным данным.

В рамках исследования предложен способ разработки ММ энергоблоков ПГУ на основе НЭХ оборудования с двухуровневой идентификацией по данным АСУ ТП. На первом уровне идентификации ММ определяются поправки к показателям тепловой экономичности (ПТЭ), учитывающие отклонение внешних факторов от фиксированных условий, принятых при разработке НЭХ. Поправки в большинстве случаев мало меняются в процессе эксплуатации оборудования [1], поэтому достаточной является их актуализация при регламентных пересмотрах НЭХ. При этом массив данных АСУ ТП, используемый для определения поправок, может охватывать период до нескольких лет эксплуатации оборудования. Второй уровень идентификации ММ предусматривает введение поправочных коэффициентов к исходно-номинальным зависимостям ПТЭ. Значения поправочных коэффициентов определяются на основе анализа составляющих резерва тепловой экономичности оборудования за некоторый (как правило, не более нескольких месяцев) предшествующий период работы оборудования.

В докладе приводятся результаты апробации предложенного способа разработки ММ применительно к трехвальному дубль-блоку ПГУ-120. Среднее отклонение результатов расчета от фактических значений по основным показателям составило 0,11%. При этом идентификация ММ позволила повысить точность модели в среднем в 13,4 раза, что подтверждает эффективность предложенного подхода.

### **Библиографический список**

1. **Ледуховский Г.В., Поспелов А.А.** Расчет и нормирование показателей тепловой экономичности оборудования ТЭС. – Иваново, 2015. – 468 с.

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

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЫЛЕСИСТЕМЫ

Эффективность технологических систем наиболее просто оценивается по результатам расчетов существенных характеристик процессов. Для систем пылеприготовления такой характеристикой является величина удельных затрат энергии на получение пыли с предельным содержанием частиц контрольного размера  $R(\delta_k) \leq R_{\text{пред}}$ . Достоверность результатов расчета определяется корректностью принятых допущений в используемой модели процесса.

Для количественного анализа совершенства технологической схемы пылеприготовления разработана математическая модель, в которой описание процесса измельчения представляется в виде серии дискретных нагружений и базируется на двух экспериментально подтвержденных явлениях [1]:

- 1) При тонком измельчении хрупких материалов справедлив закон Риттингера, согласно которому расход электроэнергии на измельчение пропорционален вновь образованной поверхности.
- 2) При хрупком разрушении частиц равновероятно образование осколков любых размеров меньше размера исходных частиц.

Интервал дискретного нагружения  $\Delta t$  представляет собой период времени, в течение которого разрушению подвергаются только исходные частицы, но не разрушаются их осколки. Доля разрушенных частиц в одном цикле нагружения  $\alpha_0$ ,  $0 < \alpha_0 \leq 1$ . Однократное прохождение материала через размольное пространство мельницы моделируется цепочкой последовательных нагружений. Длина цепочки определяется конфигурацией размольного пространства и прочностью материала. После мельницы измельченные частицы поступают в сепаратор, разделение в котором описывается с помощью кривой Тромпа [2]. Целевым является мелкий продукт разделения, крупный продукт направляется на повторное измельчение. Управление крупностью готовой пыли производится соответствующим выбором параметра измельчения  $\alpha_0$  и граничного размера разделения сепаратора  $\delta_{\text{гр}}$ .

Предлагаемая математическая модель позволяет оценить влияние структуры пылесистемы на величину поверхности готовой пыли и, соответственно, на величину удельных затрат на ее получение.

### Библиографический список

1. Загустин А.И. Расчет характеристик при дроблении на шаровых мельницах // Записки Ленинградского горного института, т. X, вып.1, 1935, с.61-70.
2. Мизонов В.Е., Ушаков С.Г. Аэродинамическая классификация порошков. - М.: Химия, 1989. - 160 с.

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

## **ЗАМЕНА ТЕПЛООБМЕНИКА СИСТЕМЫ МАСЛООХЛАЖДЕНИЯ ТУРБИНЫ НА ПЛАСТИНЧАТЫЙ**

Масляная система предназначена для обеспечения смазки и охлаждения подшипников, генератора, возбuditеля и других элементов турбоустановки, а также для подачи масла в систему регулирования турбины. Она определяет надёжную и безаварийную работу оборудования и поддерживает температуру смазочного масла оптимальной.

Одним из основных элементов системы является маслоохладитель. Он представляет собой устройство, предназначенное для отвода избыточного тепла от масла и предотвращающее его перегрев.

Наибольшее распространение благодаря упрощенной конструкции, универсальности и меньшей стоимости получили трубчатые теплообменники. Но также имеются и существенные недостатки, такие как затруднённое очищение межтрубного пространства и существенное различие между температурами трубок и кожуха, которое приводит к удлинению трубок и возникновению температурных напряжений.

Для решения этих проблем эксплуатации трубчатых теплообменников предлагается применять пластинчатые теплообменники. В таких подогревателях поверхностного типа, передача тепловой энергии между двумя средами осуществляется через тонкие металлические пластины с гофрированной поверхностью, которые образуют каналы для пропуска теплоносителей. Специальное расположение резиновых уплотнений, предотвращает смешение рабочих сред, так как каждая из них попадает в свой канал. Каналы уплотняются.

При сравнении трубчатого и пластинчатого теплообменников выявляется явное преимущество последнего. Он превосходит трубчатый по таким характеристикам, как габариты, вес, используемый материал, доступность для осмотра и другое. Единственное, в чём проигрывает пластинчатый теплообменник - его начальная стоимость.

После выполнения тепло-гидравлического расчёта пластинчатого теплообменника можно сделать вывод о преимуществах его применения в качестве маслоохладителя. Он имеет больший срок эксплуатации и более прост в обслуживании, а также обеспечивает эффективную передачу тепла, что особенно важно при работе с маслами. Помимо этого, есть возможность масштабирования теплообменника путём увеличения или уменьшения количества пластин.

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

## **ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ДЕФИЦИТА ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ НОВО-ИРКУТСКОЙ ТЭЦ**

Ново-Иркутская ТЭЦ является основным источником централизованного теплоснабжения потребителей в г. Иркутск. Установленная тепловая мощность ТЭЦ составляет 1612,5 Гкал/ч, подключенная тепловая нагрузка по состоянию на 2026 год составляет 1502 Гкал/ч. Резерв тепловой мощности ТЭЦ составляет 40 Гкал/ч, что ограничивает возможности подключения новых потребителей в ближайшей перспективе.

Проблема дефицита тепловой мощности на станции быть решена путём строительства новой газовой котельной с последующим переключения части существующих потребителей ТЭЦ. Это позволит снизить нагрузку на станцию и повысить надёжность теплоснабжения в городе.

В настоящее время все источники теплоснабжения в г. Иркутск работают на твердом или жидком топливе, что ухудшает экологическую ситуацию. Строительство газовой котельной даст толчок газификации города и позволит снизить экологическую нагрузку на территорию: перераспределение тепловой нагрузки уменьшит выбросы загрязняющих веществ от основного энергоисточника, а современное газовое оборудование обеспечит более чистое сгорание топлива по сравнению с устаревшими блоками ТЭЦ.

Планируемая тепловая мощность новой котельной составляет 450 Гкал/ч, что обеспечит покрытие текущих и перспективных потребностей севера правобережной части города Иркутск в тепловой энергии. Состав основного оборудования: 4 газомазутных котла КВ-ГМ-116,3-150 и 1 газомазутный котел КВ-ГМ-58,2-150.

Кроме строительства котельной также потребуются строительство участка тепломагистрали для врезки в существующую тепловую сети НИТЭЦ и насосной станции на обратной тепломагистрали.

Сроки ввода в эксплуатацию: первая очередь – 2029 г., вторая – 2030 г., третья – 2031 г.

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

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ БЕРЕЗНИКОВСКОЙ ТЭЦ-2**

Система централизованного теплоснабжения города Березники является одной из крупнейших в Пермском крае и включает в себя более 580 км тепловых сетей. Основным источником тепловой энергии выступает Березниковская ТЭЦ-2 (ПАО «Т Плюс»), введенная в эксплуатацию в 1947 году. На данный момент тепловая мощность станции составляет 455,8 Гкал/ч, электрическая – 42 МВт. ТЭЦ-2 обеспечивает теплом жилую и общественно-деловую застройку левобережной части города, а также промышленного потребителя – ООО «АВИСМА».

В 2018 году в г. Березники была проведена масштабная реорганизация системы централизованного теплоснабжения: тепловые нагрузки, ранее обеспечиваемые ТЭЦ-4 и ТЭЦ-10, были полностью переведены на единственный источник – Березниковскую ТЭЦ-2. Для обеспечения нового гидравлического режима были введены в эксплуатацию понижительные насосные станции (ПН-1 и ПН-2).

Расчеты и фактические данные показали, что после перевода нагрузки на ТЭЦ-2 в центральной части города сложился режим с аномально низким давлением в подающей магистрали – менее 40 м вод. ст. Это создает критический риск вскипания теплоносителя при попытке повышения температуры воды сверх установленной срезки в 117 °С, что делает невозможным работу по проектному температурному графику 150/70 °С.

Для обеспечения качественного теплоснабжения потребителей (недопущения недотопов) необходимо в перспективе отказаться от срезки температурного графика на отметке 117 °С, что приводит к снижению расчетной температуры в отапливаемых помещениях потребителей в периоды морозов.

Для устранения гидравлического дефицита и повышения надежности теплоснабжения предложено решение: строительство новой блочно-модульной котельной в центральной части города и переключение потребителей зоны с низким давлением с ТЭЦ-2 на новую БМК.

Реализация данного проекта позволит увеличить давление в подающей магистрали ТЭЦ-2 в центральной части города выше 40 м.в.ст. и устранить одну из причин введения срезки температурного графика ТЭЦ-2.

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

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗООХЛАЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА**

Система газоохлаждения генератора предназначена для отвода тепла от его элементов. Она позволяет поддерживать работу генератора в пределах температурных ограничений, установленных производителем, и предотвращает перегрев. Обеспечение эффективного охлаждения генератора способствует поддержанию надёжной работы устройства и увеличению его срока службы. Одним из основных элементов системы является газоохладитель. Он представляет собой теплообменный аппарат, предназначенный для отвода теплоты от газообразных рабочих сред путём их охлаждения в поверхностном теплообменнике.

Установленные на Калининской АЭС кожухотрубные теплообменники системы охлаждения генератора рассчитывались для режима работы на 100% мощности во всех температурных режимах. В настоящее время блоки станции работают на уровне мощности 104% от номинального значения. В таком режиме эффективность установленных теплообменных аппаратов снижается и её оказывается недостаточно, вследствие чего необходимо подключение в работу всех теплообменников. Они, в свою очередь, не имеют резерва при одновременной работе. Это влечёт за собой ряд проблем, таких как увеличение интенсивности загрязнения теплообменных аппаратов, невозможность отключения одного из них для промывки, а также проблемы с охлаждением дистиллята контура газоохлаждения генератора.

Для повышения эффективности системы выполняется замена кожухотрубного теплообменника на пластинчатый. В таком теплообменном аппарате охлаждаемая и охлаждающие среды движутся противотоком вдоль пластин каждая по своим каналам, не смешиваясь. Это является его главным достоинством и позволяет повысить интенсивность передачи тепловой энергии между двумя средами. Отсюда у теплообменников пластинчатого типа большая эффективность и более высокий коэффициент теплопередачи по сравнению с кожухотрубными моделями.

После выполнения сравнительного расчёта теплообменников обоих типов можно сделать вывод о преимуществах применения в качестве газоохладителей системы газоохлаждения генератора пластинчатых теплообменных аппаратов. Они позволяют упростить эксплуатацию и ремонт, предотвращают аварийные ситуации и обеспечивают стабильную работу энергоблока на мощности 104% в любых климатических условиях.

*О.К. Мурзамуратов, асп.; рук. А.Е. Барочкин, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭС НА ПРИМЕРЕ РАСШИРЕНИЯ САХАЛИНСКОЙ ГРЭС-2**

В условиях изолированности энергосистемы Сахалинской области, жёстких экологических ограничений, высоких требований к надёжности, выбор системы технического водоснабжения ТЭС приобретает особую актуальность. В рамках научного исследования решается задача технико-экономической оптимизации системы оборотного водоснабжения для расширения Сахалинской ГРЭС-2 (до 360 МВт) путём многокритериального сравнения 12 вариантов водозабора и охлаждения.

Для анализа, оценки и сопоставления предусмотрено несколько альтернативных вариантов водозабора и охлаждения: морской водозабор (5 схем – поверхностный, подводный, с плавучих устройств, с прудом-охладителем), речной водозабор из р. Ильинка и р. Возрождение (5 схем), подземный водозабор (1 схема) и комбинированный вариант. Каждый вариант имеет различные капитальные и эксплуатационные затраты, водопотребление (от 400 до 55 600 м<sup>3</sup>/ч), воздействие на экосистему и надёжность в условиях островной энергосистемы. Отсутствие единой методики выбора, учитывающей региональные особенности (сеймику, дефицит пресной воды, рыбозащиту, логистику), приводит к необоснованному завышению стоимости или экологическим рискам.

Впервые для объектов островной энергетики предложена методика многокритериального выбора, учитывающая региональные факторы. В результате предварительной проработки вариантов и их сопоставления по показателям можно сделать вывод о наиболее предпочтительном варианте – поверхностный морской водозабор с использованием воды для охлаждения отработанного пара в конденсаторах турбин и механизмов в вентиляторной оросительной градирне из композитных материалов.

Опыт использования градирен на морской воде обширен за рубежом, но значительно в меньшей степени имеется в РФ – это Ленинградская атомная электростанция. Эксплуатация объекта показывает положительный результат, при этом, существует проблема деградации металлических конструкций. Данный факт решается заменой металлических элементов композитными материалами. Разработанные решения могут быть рекомендованы для проектирования новых и реконструкции существующих ТЭС в регионах с дефицитом пресной воды и высокими сейсмическими рисками (9 баллов для рассматриваемого варианта).

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

## **РАСЧЕТНОЕ СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ РЕГУЛИРУЮЩИХ СТУПЕНЕЙ**

В настоящее время на повестке дня на государственном уровне (Федеральный закон от 23.11.2009 №261-ФЗ) стоит вопрос повышения эффективности энергетических машин, а также удешевления их конструкции и эксплуатации. Достигается это двумя путями: заменой в конструкции элементов с низким КПД на их аналоги с более высокой эффективностью работы и соблюдением такого режима работы энергоустановки, который позволяет достигать наибольшей эффективности эксплуатации.

Режим работы теплофикационной турбины типа Т-110/120-12,8 напрямую связан с отпуском тепловой энергии потребителю и имеет сезонный характер. Максимальная эффективность по отпуску тепловой и электрической энергии достигается при номинальных значениях расхода острого пара и тепловой нагрузки.

Выполненные тепловые расчеты на номинальный пропуск пара цилиндра высокого давления турбины Т-110/120-12,8 с двумя различными типами регулирующей ступени показали, что при расчетном режиме эффективность цилиндра с одновенечной регулирующей ступенью выше, внутренний относительный КПД составил 81,5% в сравнении с 77,8% с двухвенечной ступенью. Расчетное значение КПД двухвенечной ступени составило 65,9%, а КПД одновенечной 68,8%. КПД нерегулируемых ступеней в сравниваемых расчетах практически одинаковые.

Расчеты на переменный режим работы показали, что при снижении электрической нагрузки от 1,0 до 0,5 номинальной КПД двухвенечной ступени понизился приблизительно на 3% (с 78,9 до 76,3), а КПД одновенечной ступени при тех же условиях понизился более чем на 10%.

Одновенечная ступень, имеет ряд технологических преимуществ в сравнении с двухвенечной и имеет существенно больший КПД на режимах, близких к номинальному, поэтому ее использование целесообразно для турбин, эксплуатируемых в режимах близких к номинальному (1,0...0,75). Двухвенечная ступень будет иметь лучшие экономические показатели в сравнении с одновенечной при переменных режимах работы с нагрузкой менее 0,75 номинальной.

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

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ РАСШИРЕНИЯ И УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ АЛМАТИНСКОЙ ТЭЦ-3**

На ТЭЦ-3 в настоящее время реализуется проект строительства новой ПГУ мощностью 581,2 МВт. Предлагается рассмотреть вариант дополнительного ввода новых мощностей для выработки электрической энергии на базе паросилового цикла, работающего на угле со строительством на территории промплощадки ТЭЦ-3 взамен существующего главного корпуса.

Вариант 1 – газовая ПГУ. В качестве первого сценария дополнительного увеличения мощности ТЭЦ-3 рассматривается строительство конденсационной ПГУ мощностью около 250 – 300 МВт. В качестве возможного состава оборудования предлагается использовать газовую турбину SGT5-2000E – 189 МВт, котел-утилизатор МНДВ-SGT5-2000E-Q1, паровая турбина К-80-7,4 – 80 МВт. Электрическая мощность составит 269 МВт.

Вариант 2 – пылеугольная ПСУ. Наиболее экономичным видом топлива, удобным для транспортировки и хранения является каменный уголь, тем более что для ТЭЦ-3 уже имеется развитая инфраструктура приемки и хранения угля.

Выводы: Проект строительства пылеугольной ПСУ обладает лучшими технико-экономическими показателями по сравнению с проектом строительства ПГУ. Во многом это следствие существенно более низкой стоимости угля для ПСУ в сравнении с ценой природного газа для ПГУ.

Дополнительно необходимо отметить, что электрическая мощность предложенной ПСУ в 2,5 раза выше, чем для проекта ПГУ, что особенно актуально в связи с дефицитом электрической мощности в г. Алматы.

Таким образом, в качестве основного направления модернизации ТЭЦ-3 после ввода строящейся ПГУ в 2027 году предлагается принять проект строительства пылеугольной ПСУ с вводом в 2030-2031 гг.

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

## **АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ БЛОКА 300 МВт КОСТРОМСКОЙ ГРЭС**

Повышение тепловой экономичности действующих энергоблоков является одной из приоритетных задач электроэнергетики. Особый интерес представляют технические решения, не требующие замены основного оборудования и значительных капитальных затрат.

На Костромской ГРЭС эксплуатируются энергоблоки 300 МВт с турбоустановкой К-300-240. Регенеративная система низкого давления включает четыре поверхностных подогревателя ПНД-1...ПНД-4. В поверхностных ПНД имеется недогрев основного конденсата до температуры насыщения, который составляет 3–5 °С. Кроме того, при каскадном сливе дренажа из ПНД-4 в ПНД-3, из ПНД-3 в ПНД-2 и далее с помощью дренажного насоса в линию основного конденсата возникают дополнительные потери эксергии. В сумме эти факторы снижают тепловую экономичность турбоустановки.

Одним из способов устранения указанных недостатков является замена поверхностных ПНД на подогреватели смешивающего типа. В таких аппаратах подогрев конденсата происходит при непосредственном контакте с греющим паром, что позволяет нагреть конденсат точно до температуры насыщения (недогрев отсутствует). Также упрощается схема слива дренажа, а в ряде случаев удаётся отказаться от дренажных насосов.

Всего было рассмотрено три варианта:

- вариант 1: замена ПНД-1 на смешивающий подогреватель;
- вариант 2: замена ПНД-2 на смешивающий подогреватель;
- вариант 3: замена ПНД-1 и ПНД-2 на смешивающие подогреватели, выполненные по гравитационной схеме включения.

В результате, наиболее предпочтительным вариантом по экономичности является вариант 3 с заменой ПНД-1, 2 на смешивающие, включенные по гравитационной схеме. В данном варианте КПД турбоустановки по производству электроэнергии на 0,17 % выше по сравнению с исходным вариантом.

Однако стоит отметить, что вариант 2 с заменой ПНД-2 на смешивающий позволяет увеличить КПД турбоустановки по производству электроэнергии на 0,13 %, что в сравнении с вариантом 3 практически равносильно.

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

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕВОДА ПАРОВЫХ КОТЛОВ С УГЛЯ НА ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО**

Особенность ряда паровых котлов, использующихся на территории России и постсоветского пространства – работа на топливах, существенно отличающихся по свойствам от проектных. Паровые котлы проектировались с учётом особенностей проектных топлив, в соответствии со стратегией развития ТЭК и существовавших технологий. Однако, при газификации станций на рубеже 1990 – 2005 годов возникла ситуация массового перевода котлов на газовое топливо в связи с экологической целесообразностью и коммерческой выгодой.

Для рассмотрения проблем перевода котлов с угля на газовое топливо рассмотрен котёл БКЗ-210-140-7 (где 7 – номер модели) 1974 года ввода в эксплуатацию. Проектное топливо кузнецкий тощий уголь, который характеризуется высоким содержанием углерода, малой реакционной способностью и низким выходом летучих, поэтому факел считается относительно коротким и белым. Однако, для его сжигания требуется меньшее количество воздуха (7,4 м<sup>3</sup>/кг) нежели для природного газа, а повышенный объем продуктов сгорания газа обуславливается водяными парами из – за влажности угля. Увеличивает расход газов на угле по тракту повышенный избыток воздуха на горелках (1,07-1,1).

Газовое топливо характеризуется более светлым факелом, увеличенными объемами продуктов сгорания, которые не обеспечивают проектную светимость в топке котла, и скорость движения в конвективных пучках. Это приводит к недогреву перегретого пара на выходе с последней ступени пароперегревателя и снижение паропроизводительности. В работе автором рассматриваются существующие пути решения данной проблемы – реализованные на ряде типовых котельных установок, а также предлагается ряд перспективных решений.

**Таблица 1. Сравнение сжигания разных топлив**

Топливо	Цвет факела	Длина факела, м	Необходимый объем воздуха, м <sup>3</sup> /кг	Объем продуктов сгорания м <sup>3</sup> /кг
Газ	Голубой	1,5-2	9,6	11
Кузнецкий Т	Бело-соломенный	3,5-5	7,4	8,4

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ТАВРИЧЕСКОЙ ТЭС

Для парогазовой установки (ПГУ) Таврической ТЭС в условиях дефицита водных ресурсов невозможно применение традиционных систем охлаждения пара в конденсаторе паровой турбины, входящей в состав ПГУ. В подобных случаях используют системы «сухого» охлаждения, которые практически не потребляют воду.

Рассмотрены два альтернативных варианта «сухого» охлаждения: использование воздушно-конденсационной установки (ВКУ) и сухой вентиляторной градирни (СВГ). ВКУ конденсирует отработавший в турбине пар непосредственно в теплообменных секциях с оребренными трубами. В СВГ происходит охлаждение воды, которая циркулирует через штатный конденсатор турбины. Основные различия этих двух систем сведены в таблицу 1.

**Таблица 1 - Сравнение ВКУ и СВГ для турбоустановки К-80-8.0**

Параметр	ВКУ	СВГ
Схема подключения	Прямая: конденсация пара в теплообменнике	Непрямая: конденсация пара в штатном конденсаторе, охлаждение циркуляционной воды в сухой градирне.
Промежуточный контур	Отсутствует	Присутствует (расход воды ~17400 м <sup>3</sup> /ч)
Давление в конденсаторе	Зависит от температуры воздуха.	Зависит от температуры циркуляционной воды на входе в конденсатор
Температурный напор	Пар конденсируется при температуре, близкой к температуре воздуха.	Ниже из-за промежуточного контура.
Эксплуатационные риски	Обмерзание зимой при отрицательных температурах воздуха.	Менее склонна к обмерзанию за счет промежуточного контура.
Защита от обмерзания	Дефлегматорные секции, реверсивные вентиляторы	Слив воды в баки (5×138 м <sup>3</sup> ), электрообогрев

Проведенный сравнительный анализ показал, что каждая из рассматриваемых систем обладает рядом достоинств. Энергопотребление ВКУ и СВГ практически сопоставимо. Водно-химический режим идентичен, экологические показатели – одинаковы. Вместе с тем учитывая условия крымской зимы, применение ВКУ потребует более сложных систем противобледенения. Для обеспечения эффективной работы круглый год предпочтительным вариантом является СВГ.

*К.С. Рудяков, студ.; рук. А.Е. Барочкин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛООВОГО УЗЛА КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК**

В целях повышения энергетической эффективности системы централизованного теплоснабжения и обоснования выбора оптимальной стратегии реконструкции выполнен анализ перспективных технико-экономических показателей работы Сакмарской ТЭЦ и котельных г. Оренбурга.

Объект исследования — тепловой узел г. Оренбурга, включающий Сакмарскую ТЭЦ (установленная электрическая мощность 460 МВт, тепловая — 1576 Гкал/ч) и комплекс городских котельных. В процессе исследования разработано шесть вариантов оптимизации, предусматривающих переключение тепловых нагрузок от 5 до 21 котельной на ТЭЦ с выводом их из эксплуатации. Оценка эффективности вариантов выполнена с использованием теплогидравлического моделирования в «Zulu Thermo» и методов инвестиционного анализа (NPV, IRR, срок окупаемости).

Установлено, что реализация мероприятий по переключению тепловых нагрузок позволяет снизить удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии с 285,6 г.у.т./кВт·ч (инерционный сценарий) до 266,1 г.у.т./кВт·ч при максимальной консолидации нагрузок (Вариант 6А). Однако наиболее высокие показатели экономической эффективности достигнуты для Варианта 5 (переключение 5 котельных и котельной «Стрела»), где чистый дисконтированный доход (NPV) составил 356,7 млн руб., а дисконтированный срок окупаемости — 5,15 лет. Дальнейшее наращивание подключаемой нагрузки (Вариант 6А) требует реконструкции магистральных теплопроводов с увеличением их диаметра, что приводит к росту капитальных затрат до 3,95 млрд руб. и снижению NPV до отрицательных значений (-872,6 млн руб.). Установка гидромурфт на питательные насосы ТЭЦ экономически эффективнее (срок окупаемости 5,3 года) по сравнению с применением частотно-регулируемого привода или турбопривода.

Таким образом, для г. Оренбурга оптимальной является стратегия поэтапного переключения тепловых нагрузок с 5 котельных и котельной «Стрела» на Сакмарскую ТЭЦ. Данный подход обеспечивает положительную динамику ключевых финансовых показателей при минимальных капитальных вложениях и рекомендуется к включению в инвестиционную программу развития теплового узла.

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

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОНОВОК ЦНД И ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТУРБИНЫ К-1000-60/3000 НА РАЗЛИЧНЫХ АЭС**

Турбина К-1000-60/3000 производства Ленинградского Металлического завода (ЛМЗ) является базовой быстроходной турбоустановкой для энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000. В процессе развития проекта для различных станций-потребителей заводом были созданы модификации, отличающиеся количеством цилиндров низкого давления (ЦНД). Целью данной работы является выявление инженерных компромиссов, на которые пошли конструкторы при переходе от компоновки с 4 ЦНД к компоновке с 3 ЦНД, и оценка их влияния на мощность и эффективность.

Анализ данных позволяет выделить следующие технические компромиссы, принятые при сокращении числа ЦНД.

1) Снижение эффективности вакуумной системы. Переход на 3 ЦНД ведет к сокращению общей площади выхлопа на 25%.

2) Форсирование по расходу пара. Для компенсации потери мощности, вызванной ухудшением вакуума, турбины с 3 ЦНД эксплуатируются с повышенным расходом свежего пара.

Вывод. Сокращение числа ЦНД с четырех до трех в проектах АЭС «Бушер» и «Куданкулам» позволило уменьшить длину машинного зала в среднем на 16 метров и снизить металлоемкость турбоустановки. Платой за данное конструктивное упрощение является снижение абсолютного электрического КПД брутто из-за роста давления в конденсаторе и необходимости увеличения расхода пара через проточную часть на 1,8–3% для удержания номинальной мощности.

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

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СХЕМЫ СБОРА ШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ АЛМАТИНСКОЙ ТЭЦ-2**

Алматинская ТЭЦ-2 – основной источник централизованного теплоснабжения в г. Алматы. В качестве основного топлива используется Экибастузский уголь с зольностью около 40 %. Данное обстоятельство приводит к образованию большего количества золы. Существующий золоотвал исчерпал свою ёмкость. Требуется его расширение или переход на другой способ складирования золы ТЭЦ-2.

Действующая технология гидрозолоудаления требует значительных объёмов технической воды, формирует высокоминерализованные шламовые стоки, требующие дорогостоящей очистки, и приводит к потере потребительских свойств летучей золы вследствие её увлажнения. В результате зола становится малопригодной для прямой реализации в строительной отрасли, возрастают эксплуатационные затраты на водоподготовку и водоотведение, а также создаётся дополнительная экологическая нагрузка на поверхностные и грунтовые воды.

Предлагается переход на комплексную схему сухого золоудаления. Летучая зола, улавливаемая электрофильтрами и рукавными фильтрами, направляется в пневмотранспортную систему (рабочее давление  $\approx 0,6$  МПа, трубопроводы  $\varnothing 150\text{--}200$  мм), обслуживаемую резервированными компрессорами ( $2 \times 100$  %). Зола аккумулируется в трёх силосах вместимостью по 1 500 т каждый, оснащённых фильтрами аспирации (выброс  $\leq 30$  мг/нм<sup>3</sup>), виброразгрузчиками и системами взрывозащиты. Предусмотрена гибкая двухрежимная отгрузка: при наличии рынка зола отгружается в автоцементовозы или ж/д цистерны для использования в производстве цемента, бетона, кирпича и дорожных работ; при отсутствии сбыта предусмотрена дозированная подача золы в действующую гидросистему через специальные дозаторы, что гарантирует бесперебойность технологического процесса.

Ожидаемый результат: полное исключение воды из цикла транспортировки золы, снижение водопотребления станции на 40–50 %, сохранение товарных качеств золы и создание устойчивого канала её реализации. Капитальные затраты на внедрение схемы оцениваются в 15,62 млн \$. Проект обеспечивает существенное снижение эксплуатационных расходов, минимизацию экологического ущерба и формирование дополнительного экономического эффекта от продажи вторичного энергоресурса, что повышает общую ресурсоэффективность и экологическую безопасность ТЭЦ.

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

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОТОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБИНЫ К-300-240 ЛМЗ КОНАКОВСКОЙ ГРЭС**

В процессе длительной эксплуатации турбин К-300-240 ЛМЗ Конаковской ГРЭС значительно увеличились радиальные зазоры в надбандажных, диафрагменных и концевых уплотнениях, что привело к росту паразитных перетоков пара и снижению внутреннего относительного КПД цилиндров высокого давления.

Рассмотрено применение современных сотовых уплотнений производства ФГУП «НПП «Мотор». Данные уплотнения позволяют существенно уменьшить радиальные зазоры (практически до нуля), минимизировать перетоки пара, снизить риск теплового прогиба ротора при задеваниях и обеспечить стабильность экономичности в течение всего межремонтного периода.

При капитальном ремонте энергоблока № 3 Конаковской ГРЭС на ступенях 2–20 ЦВД были установлены сотовые уплотнения. По результатам балансовых испытаний, проведённых ОАО «ВТИ»:

- внутренний относительный КПД ЦВД составил 87,5 %;
- на блоке № 2 (с металлопорошковыми уплотнениями Х6) КПД ЦВД составил 86 %;
- прирост КПД ЦВД за счёт сотовых уплотнений достиг 1,5 %;
- общий КПД энергоблока составил 40,62–40,72 %;
- приведённый удельный расход условного топлива снизился до 302,0 – 302,8 г/кВт·ч;
- турбоагрегат устойчиво несёт нагрузку до 330 МВт.

Применение сотовых уплотнений показало высокую эффективность и надёжность как в нормальных, так и в аварийных режимах работы.

Рекомендуется при реконструкции турбин К-300-240 ЛМЗ Конаковской ГРЭС комплексно применять сотовые надбандажные, диафрагменные и концевые уплотнения. Это позволит не только восстановить, но и превысить заводские показатели экономичности без полной замены турбоагрегата.

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

## **СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫХЛОПНОГО ПАТРУБКА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПТ-25-90/10М ТЭЦ-ПВС АО «ТУЛАЧЕРМЕТ»**

При работе паровой турбины ПТ-25-90/10М на режимах с малыми расходами пара или полностью закрытой регулирующей диафрагмой ЧНД происходит значительный перегрев выхлопного патрубка и последних ступеней турбины вследствие вентиляционного разогрева. Это приводит к снижению надёжности и экономичности турбоустановки.

Традиционные методы охлаждения имеют существенные недостатки: эрозионный износ выходных кромок рабочих лопаток, неравномерность температурных полей в выхлопном патрубке и вибрационное воздействие на лопаточный аппарат.

Предложена усовершенствованная система охлаждения, в которой охлаждающий пар подаётся через коллектор с кольцевой щелью, оснащённой направляющим аппаратом. Направляющий аппарат придаёт потоку пара тангенциальную составляющую скорости, направленную в сторону вращения рабочих лопаток. Такое решение позволяет создать защитную завесу, предотвратить проникновение крупнодисперсной влаги из конденсатора и обеспечить равномерное охлаждение выхлопного патрубка без прямого воздействия на лопатки.

Установлены основные требования к эксплуатации системы охлаждения. Охлаждение необходимо включать непосредственно перед закрытием регулирующей диафрагмы или при приближении температуры выхлопа к предельно допустимой величине (100–120 °С по штатным термопарам). Давление охлаждающей среды должно быть не ниже 6 кгс/см<sup>2</sup>, температура - не ниже 80 °С, а падение давления на чистом фильтре не должно превышать 0,5 кгс/см<sup>2</sup>. Ревизию системы с контролем герметичности и работоспособности форсунок рекомендуется проводить при каждом текущем и капитальном ремонте турбины.

Применение современной системы охлаждения выхлопного патрубка с тангенциальной подачей пара позволяет повысить надёжность и экономичность работы турбины ПТ-25-90/10М на малорасходных режимах.

*Е.О. Солодухин, студ.; рук. И.А. Кокулин, ст. преп.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЕПАРАЦИИ В КАМЕРЕ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ (МИУМВ)**

МИУМВ остаются основной крупнотоннажного опреснения морской воды и концентрирования солевых растворов в химической технологии. Ключевым узлом, определяющим чистоту дистиллята и энергоэффективность ступени, является сепарационная камера. Недостаточное удаление капельной влаги из парового потока приводит к солевому уносу, коррозии поверхностей нагрева и резкому снижению качества продукта. Поэтому разработка адекватной модели сепарации, учитывающей гидродинамику парожидкостного потока, представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Сепарация капельной влаги в камере вскипания основана на сочетании гравитационного, инерционного и центробежного механизмов. После прохождения дросселирующего устройства перегретая жидкость вскипает в объеме камеры с образованием полидисперсного факела капель. Крупные капли ( $d > 200$  мкм) осаждаются под действием силы тяжести в нижнюю жидкостную ванну. Мелкие капли ( $d < 100$  мкм) увлекаются паровым потоком и должны задерживаться на жалюзийных или сетчатых отбойниках за счет инерционного соударения и броуновской диффузии. Эффективность сепарации критически зависит от скорости пара над зеркалом испарения, высоты парового пространства и турбулентности потока.

Разработанная модель (реализованная в ANSYS Fluent) базируется на подходе Эйлера–Лагранжа. Сплошная паровая фаза описывается усредненными по Рейнольдсу уравнениями Навье–Стокса с  $k$ - $\epsilon$  моделью турбулентности. Дискретная фаза (капли) трассируется в «лагранжевом» формате с решением полного уравнения движения, включающего силу Стокса, силу тяжести и силу Архимеда. Модель сепарации заложена через условие «прилипания» капли к стенке отбойника при достижении критического числа Стокса. Парообразование с поверхности капли не учитывается. Расчеты выполнены для диапазона диаметров капель 10–500 мкм при скорости пара 0.5–3.0 м/с. Полученные поля объемной доли жидкости и траектории капель позволили качественно оценить зоны рециркуляции и вероятные пути уноса влаги.

Показано, что при скорости пара выше 2.2 м/с сепарация капель размером менее 80 мкм становится неэффективной даже при наличии жалюзийных отбойников.

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ СТАНЦИИ**

На ТЭЦ ключевая роль отводится теплофикационным турбинам, поскольку они обеспечивают совместную генерацию электрической и тепловой энергии. Данное оборудование позволяет утилизировать тепловую энергию, образующуюся в процессе выработки электричества, и направлять её на нужды отопления и горячего водоснабжения.

Одной из главных задач при эксплуатации ТЭЦ является корректное определение оптимальной загрузки генерирующего оборудования. От её решения напрямую зависят экономические и технические показатели работы станции. Достижение сбалансированной загрузки даёт возможность:

- сократить потребление топлива и других ресурсов за счёт более полного использования теплового потенциала;
- поддерживать устойчивую работу турбоагрегатов без перегрузки;
- гарантировать стабильное теплоснабжение потребителей.

В настоящей работе оценивалась эффективность поиска оптимального распределения нагрузок с использованием программного продукта «ТЭС-Эксперт». Объектами исследования выступили два турбоагрегата модели Т-100/120-130, функционирующие в параллельном режиме по следующим параметрам: свежий пар, питательная вода, электрическая мощность и сетевая вода.

Вычисления проводились для всего возможного диапазона электрических мощностей при фиксированных параметрах заданного режима.

На основании полученных в ходе расчётов данных зафиксировано снижение расхода топлива на ТЭЦ при условии выбора оптимальной загрузки оборудования.

**Таблица 1 - Сравнительный анализ технико-экономических показателей ТЭЦ в зависимости от выбранного варианта загрузки**

Наименование показателя	Оптимальный	Неоптимальный	Отклонение
вэ, г у.т./кВт.ч	300,75	306,20	-1,78%
втэ, кг у.т./Гкал	129,10	129,80	-0,54%

Таким образом, правильное определение загрузки стационарного оборудования позволяет выделить наиболее рациональные рабочие режимы турбин и установить оптимальные эксплуатационные параметры. Полученные результаты подтверждаются снижением удельных расходов топлива как при производстве электроэнергии, так и при отпуске тепла.

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

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ДЕТАЛЬНОГО РАСЧЁТА СТУПЕНЕЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

В рамках продолжения ранее начатых исследований по созданию лабораторного практикума для расчёта паровой турбины был разработан программный комплекс, обеспечивающий переход от предварительного конструкторского расчёта проточной части к детальному анализу каждой ступени турбины. Если предыдущая версия практикума позволяла определять ориентировочные параметры расширения пара, размеры регулирующих и нерегулируемых ступеней, а также оптимальное число промежуточных ступеней, то новый этап разработки направлен на углублённое моделирование рабочих процессов внутри каждой ступени.

Созданный программный комплекс, реализованный на языке Python, позволяет выполнять детальный расчёт каждой ступени паровой турбины с учётом газодинамических и геометрических характеристик. Ключевой особенностью разработанного решения является возможность подбора углов входа и выхода потоков из ступеней, что непосредственно влияет на эффективность преобразования тепловой энергии в механическую работу.

В рамках расчётной модели комплекс обеспечивает:

- определение углов направления потока на входе в сопловые и рабочие решётки каждой ступени;
- расчёт углов выхода потока из ступени с учётом потерь энергии и реальных характеристик профилей;
- итерационный подбор оптимальных значений углов, обеспечивающих максимальный к.п.д. ступени при заданных режимных параметрах;
- построение треугольников скоростей для каждой ступени на основе подобранных углов.

Детальный расчёт каждой ступени позволяет уточнить потери энергии в решётках, скорректировать геометрические параметры (ширину, хорду, шаг решёток) и оценить влияние отклонений углов потока на общую эффективность турбины. Разработанный комплекс может использоваться как в образовательном процессе (расширение лабораторного практикума), так и в инженерной практике для поверочных расчётов при модернизации оборудования. Дальнейшее развитие комплекса может включать интеграцию с САПР и использование методов вычислительной газодинамики (CFD).

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

## **ВЕРИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ СЕПАРАЦИИ КАПЕЛЬНОЙ ВЛАГИ В КАМЕРЕ ИСПАРИТЕЛЬ- НОЙ УСТАНОВКИ МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ (МИУМВ)**

Камеры сепарации МИУМВ определяют солесодержание дистиллята и ресурс работы теплообменного оборудования. Нормативная документация обычно использует эмпирические коэффициенты, не учитывающие реальную гидродинамику и полидисперсность уносимых капель. Это приводит к завышению габаритов или недопустимому уносу. Поэтому создание верифицированной модели, откалиброванной по экспериментальным данным для конкретной геометрии сепаратора, является критически важным для инженерного проектирования.

В камере вскипания процесс разделения фаз протекает в три этапа: 1) осаждение крупных капель ( $>200$  мкм) под действием гравитации, 2) инерционное соударение средних капель (50–200 мкм) с жалюзийными или сетчатыми отбойниками, 3) возможная коагуляция мелких капель ( $<50$  мкм) в турбулентных зонах с последующим выпадением. Основные управляющие параметры - приведенная скорость пара над зеркалом испарения, высота парового пространства и геометрия отбойных элементов. Турбулентные пульсации могут как способствовать коагуляции, так и, напротив, удерживать мелкие капли во взвешенном состоянии, снижая качество сепарации.

Разработана CFD-модель на основе подхода Эйлера–Лагранжа. Сплошная паровая фаза решается с использованием SST модели турбулентности. Дискретные капли трассируются с учетом сил Стокса, тяжести, подъемной силы и турбулентной дисперсии (модель случайного блуждания). Экспериментальные данные получены на лабораторном стенде с плоским жалюзийным отбойником; измерялись концентрация капель на входе и выходе лазерным анализатором размеров. Калибровка модели выполнена по двум параметрам: коэффициент прилипания капли к стенке (в диапазоне 0.65–0.85) и критическое число Стокса для отрыва капли от отбойника. В результате калибровки достигнута сходимость расчетной и экспериментальной эффективности сепарации в пределах 8% для диапазона скоростей пара 1.0–3.5 м/с и размеров капель 30–300 мкм. Показано, что без калибровки модель систематически завышает эффективность сепарации на 15–25% для мелких фракций (50–80 мкм). Верифицированная модель позволила уточнить предельную скорость пара для проектной геометрии (не более 2.5 м/с) и вывить зону отрыва капель от кромки жалюзи.

*А.В. Коротких, студ.; рук. А.С. Тарасова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭС ПАО «ИНТЕР РАО» НА ОСНОВЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА**

ТЭС обеспечивают около 60% выработки электроэнергии в России, однако средний КПД российских тепловых энергоблоков не превышает 36–38%, что ниже мировых лидеров. Одним из инструментов повышения эффективности является цифровизация систем контроля и управления технологическими процессами.

Объектом исследования выбраны энергоблоки ПАО «Интер РАО». В 2023–2025 годах компания реализовала пилотный проект по внедрению цифровых двойников и интеллектуальных систем мониторинга на Верхнетагильской ГРЭС и Пермской ГРЭС.

Целью работы является анализ влияния цифровизации систем мониторинга на показатели энергоэффективности ТЭС и оценка перспектив масштабирования результатов на другие объекты генерации ПАО «Интер РАО».

Методология исследования включает: сравнительный анализ технико-экономических показателей до и после внедрения; математическое моделирование тепловых процессов; обработку данных с более чем 2500 датчиков в режиме реального времени. Система предиктивной аналитики построена на основе алгоритмов машинного обучения и позволяет прогнозировать отклонения в работе оборудования за 2–4 часа до возникновения аварийной ситуации [2].

Анализ данных показывает, что внедрение цифровой системы мониторинга обеспечило повышение КПД энергоблока на 1,7 процентного пункта и снижение удельного расхода топлива на 16 г у.т./кВт·ч. Экономический эффект составил, по данным ПАО «Интер РАО», около 340 млн рублей в год для двух пилотных станций.

Практическая ценность полученных результатов состоит в возможности тиражирования разработанного подхода на остальные 14 станций генерирующего портфеля компании. Расчётный совокупный экономический эффект при полном масштабировании может достичь 2,1 млрд рублей ежегодно при сроке окупаемости инвестиций не более 3 лет.

Таким образом, цифровизация систем мониторинга ТЭС является экономически обоснованным и технически реализуемым инструментом повышения энергоэффективности. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку унифицированной методики интеграции цифровых двойников в существующую АСУ ТП ТЭС.

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

## **РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЛОКА ПГУ-39 СОЧИНСКОЙ ТЭС В КОНДЕНСАЦИОННОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ**

Отсутствие утверждённых нормативных энергетических характеристик для оборудования ПГУ-39 Сочинской ТЭС не позволяет осуществлять контроль тепловой экономичности в соответствии с требованиями нормативно-технической документации по топливоиспользованию. На основе тепловых балансовых испытаний и поверочного теплового расчёта разработаны основные энергетические характеристики газотурбинной установки GT-10С, котла-утилизатора П-103 и паровой турбины Т-10/11-5,2/0,2 в конденсационном режиме работы.

Результаты расчёта показали, что электрический КПД ГТУ составляет 35,5 %, КПД котла-утилизатора – 81,4 %, электрический КПД паротурбинной установки – 30 %. Суммарная электрическая мощность ПГУ-39 в конденсационном режиме при температуре наружного воздуха +15 °С достигла 41,05 МВт при удельном расходе условного топлива 238,92 г у.т./кВт·ч. Установлено, что повышение температуры наружного воздуха на 10 °С приводит к снижению электрической мощности ГТУ на 2,1 МВт и росту удельного расхода топлива на 8,2 г у.т./кВт·ч.

Для повышения эффективности использования топлива на Сочинской ТЭС предлагается применять разработанные энергетические характеристики при планировании режимов нагрузки блока, контроле технического состояния оборудования и нормировании удельных расходов топлива. Рекомендуется выполнять корректировку режима работы ПГУ-39 с учётом сезонных изменений температуры наружного воздуха, что позволит снизить перерасход топлива в летний период до 3–5 % относительно номинального режима.

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

## ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАКТА ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ КОНДЕНСАТОРА С ГРАДИРНЕЙ КАПЕЛЬНОГО ТИПА

Схема технического водоснабжения является одной из основных технологических систем тепловых электрических станций, в состав которых входят турбоагрегаты с конденсацией отработавшего пара. Режим ее работы оказывает существенное влияние на эффективность технологического процесса ТЭС по выработке электроэнергии, которая зависит от большого числа влияющих факторов: типа схемы технического водоснабжения, типов и режимов работы циркуляционных насосов, состояния конденсационной установки, температуры охлаждающей воды, присосов в вакуумную систему и т.д.

Определение оптимальных режимов работы схема технического водоснабжения предполагает использование теплогидравлической модели всего тракта, которая для схемы обратного охлаждения циркуляционной воды конденсатора с градирней капельного типа может быть записана в общем виде:

$$\begin{cases} H_{\text{ци}} = f(W_{\text{ов}}, \theta) \\ P_{\text{ци}} = f(W_{\text{ов}}, \theta) \\ H_c = f(W_{\text{ов}}) \\ H = H_c \\ t_{2в}, p_2, \delta t_k = f(W_{\text{ов}}, t_{1в}, D_2) \\ t_{1в} = f(W_{\text{ов}}, t_{2в}, t_{\text{не}}, \varphi_{\text{не}}, F_{\text{ор}}) \end{cases}$$

где:  $H, H_c$  – напор насоса и сопротивление сети соответственно, м;  $P$  – мощность, затрачиваемая на привод насоса, кВт;  $\theta$  – угол установки лопаток направляющего аппарата насоса;  $W_{\text{ов}}$  – объёмный расход охлаждающей воды, м<sup>3</sup>/ч;  $t_{1в}, t_{2в}$  – температура охлаждающей воды на входе и выходе из конденсатора, °С,  $p_2, \delta t_k$  – давление отработавшего пара и температурный напор конденсатора.

Решение данной модели для конкретных условий [1, 2] и режима работы турбоагрегата позволит определить оптимальный угол  $\theta$  насоса.

### Библиографический список

1. **Смирнов Н.Н.**, Тимошин Л.И., Шарафутдинова Н.К. Гидравлический расчет водопроводов Методические указания к курсовой работе по курсу «Гидрогазодинамика». Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. 2010 – 28 с.

2. **Гладков В.А.**, Арефьев Ю.И. и др. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»). ЦИТП Госстроя СССР. 1989. – 190 с.

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

## РАСЧЕТ РАБОЧИХ ТОЧЕК ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСОВ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ ЯЙВИНСКОЙ ГРЭС С УЧЕТОМ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ

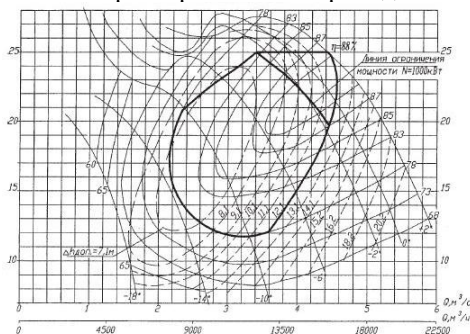
Расчет рабочих точек циркуляционных насосов является одной из основных задач при определении величины наивыгоднейшего вакуума в конденсаторе турбоагрегата. Параметры рабочей точки зависят от энергетических характеристик насосного агрегата и гидравлической характеристики сети, на которую работает насос или группа насосов.

На Яйвинской ГРЭС для охлаждения циркуляционной воды используется башенная градирня типа БГ-3200. Расход рабочей среды на градирню составляет 31 500 м<sup>3</sup>/ч. Охлаждающая вода подводится по трубопроводам диаметрами 1600мм и 1800мм.

Характеристика сети, определенная в результате гидравлического расчета [1] определяется следующим выражением:

$$\Delta H = 20,5 + 13,82 \cdot 10^{-4} \cdot W_{об}^2, \text{ кг/см}^2$$

Решение этого уравнения совместно с энергетической характеристикой насоса 96 ДПВ-4.5/23К (рис. 1) позволит при заданном расходе охлаждающей воды определить требуемый угол лопастей направляющего аппарата и затраты электроэнергии на его привод насоса.



**Рисунок 1** - Характеристика насоса 96 ДПВ-4.5/23К при n=485 об/мин.

### Библиографический список

1. Смирнов Н.Н., Тимошин Л.И., Шарафулдинова Н.К. Гидравлический расчет водопроводов: Методические указания к курсовой работе по курсу «Гидрогазодинамика». Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина. 2010 – 28 с.
2. Черкасский В.М. Насосы. Вентильаторы. Компрессоры: Учебник для теплоэнергетических специальностей вузов / В.М. Черкасский. — Москва : Энергия, 1977. — 422 с.

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

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ ТУРБОУСТАНОВКИ К-1200-6,8/3000 ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС-2**

Проблема обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации турбоагрегатов является одной из ключевых задач энергетики. В процессе длительной эксплуатации турбины К-1200-6,8/3000 наблюдается снижение точности поддержания частоты вращения ротора на номинальном уровне 3000 об/мин, что связано с деградацией элементов системы автоматического регулирования и увеличением динамических отклонений при изменении нагрузки.

Анализ существующей системы автоматического регулирования частоты вращения показал наличие проблем, связанных с износом исполнительных механизмов регулирующих клапанов, ухудшением характеристик датчиков частоты вращения и положения регулирующих органов, а также отсутствием оперативной диагностики технического состояния оборудования. Погрешность измерения частоты достигает 1,5–2,0 %, время переходных процессов при возрастает до 3–5 секунд, а средняя наработка на отказ исполнительных механизмов не превышает 30–40 тыс. часов. Отсутствие автоматизированного контроля технического состояния приводит к несвоевременному обнаружению дефектов, что увеличивает риск аварийных ситуаций и снижает надёжность.

Для повышения надёжности предлагается модернизация системы регулирования путём внедрения цифровой системы диагностики и мониторинга технического состояния. Предусматривается установка дополнительных датчиков вибрации и температуры подшипников, модернизация каналов измерения частоты вращения, а также внедрение модулей самодиагностики и анализа трендов параметров. Система обеспечивает непрерывный контроль параметров в реальном времени, раннее обнаружение отклонений и передачу данных в автоматизированную систему управления турбоагрегатом.

Внедрение предлагаемой системы позволит сократить время обнаружения неисправностей до 1–2 секунд, увеличить среднюю наработку на отказ до 60–80 тыс. часов, повысить устойчивость регулирования частоты вращения, снизить вероятность аварийных остановов и эксплуатационные затраты, а также продлить ресурс основного оборудования турбоустановки.

*О.К. Мурзамуратов асп.; рук. А.Е. Барочкин, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ИСПОЛНЕНИЯ ГРАДИРЕН С УЧЕТОМ ИЗОЛИРОВАННОСТИ ЭНЕРГОРАЙОНА ОСТРОВНОГО ТИПА**

Обеспечение надежного технического водоснабжения является одной из ключевых проблем для энергетики любого региона, но для островных территорий она стоит особенно остро. Это связано с ограниченностью пресноводных ресурсов и в значительной степени зависимостью от внешних факторов.

Собственно, важнейшей задачей является поиск новых технических решений, которые позволят снизить зависимость энергосистемы от ограниченных природных источников и повысить общую надежность энергоснабжения.

В качестве одного из перспективных решений предлагается переход на прямоточную систему технического водоснабжения с использованием морской воды и применением градирен из современных композитных материалов. Логика подобного решения основывается на снятии нагрузки с пресных источников, защитой от коррозии (традиционные металлические конструкции в условиях морской воды сильнее подвержены потере эксплуатационных характеристик). Несмотря на очевидные плюсы использования композитных материалов для градирен, есть и отрицательные стороны: более высокая стоимость, чувствительность к температурам и износу, высокие (порой индивидуальные) требования к изготавливаемому материалу.

Таким образом, применение прямоточной системы водоснабжения с морским водозабором в комплексе с градирями из композитных материалов представляет собой эффективное и технологичное решение для островной энергетики, гарантирующее перспективно выгодные позиции.

Стоит отметить, что опыт использования градирен на морской воде обширен за рубежом, но значительно в меньшей степени имеется на территории Российской Федерации – это Ленинградская атомная электростанция. Эксплуатация объекта показывает положительный результат.

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

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЕЛЛЕТ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

В настоящее время современная энергетика сталкивается с рядом острых проблем: истощение запасов ископаемого топлива (угля, нефти, газа), рост антропогенной нагрузки на экосистему и выбросов  $CO_2$ , а также необходимость утилизации промышленных отходов.

Особенно актуальна задача поиска экономически выгодных и экологических альтернатив традиционным источникам энергии для удалённых и труднодоступных регионов, где доставка ископаемого топлива затруднена. Повышение энергоэффективности и снижение экологической нагрузки требуют внедрения возобновляемых источников энергии — в том числе биотоплива.

Пеллеты (топливные гранулы) — это перспективное биотопливо, позволяющее решить обозначенные задачи. Пеллеты имеют ряд преимуществ:

1. Возобновляемость сырья: производятся из отходов лесопереработки (опилки, кора, щепа), сельского хозяйства (солома, лузга подсолнечника и т.д.).

2. Высокая энергоэффективность: теплотворная способность на 50 % выше, чем у дров, и лишь в 2 раза ниже, чем у каменного угля; КПД сжигания — до 86 %.

3. Экологичность: низкое содержание золы (до 3 %) и вредных выбросов (в т.ч. отсутствие серы и фосфора), минимальный углеродный след.

4. Удобство логистики и хранения: низкая влажность (8–12 %), высокая плотность, стандартные размеры гранул позволяют автоматизировать подачу топлива и хранить его длительное время.

5. Экономичность: использование отходов снижает себестоимость, а автоматизация котлов сокращает эксплуатационные затраты.

Применение пеллет позволяет диверсифицировать топливную базу, снизить зависимость от ископаемого топлива, улучшить экологическую обстановку и эффективно утилизировать отходы.

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

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА**

В настоящее время все более широко начинают применяться пеллеты в энергетике, в качестве основного топлива. Сырьё, и производство имеет соответственные преимущества, но и небольшие риски. Например, преимущества пеллет в том, что их делают из опилок, щепы, коры – отходов лесопиления. А риски заключаются в том, что происходят вырубки живых лесов при неконтролируемом производстве.

При производстве пеллетов, из-за сжигания происходят выбросы некоторых химических отходов, таких как: PM2.5 (мелкая зола) – вызывает болезни лёгких и сердца, NOx (оксиды азота) – кислотные дожди, смог, SO<sub>2</sub> – кислотные дожди (но мало), CO (угарный газ) – токсичен, признак плохого горения, ЛОС – вредят растениям, дают запах дыма.

Принято считать, что такие выбросы не наносят сильного вреда в природе. Официально CO<sub>2</sub> нейтрален (деревья поглощают). Но реальный след высок из-за сушки, грануляции и дальних перевозок. Локальные пеллеты – хорошо, импортные – часто хуже угля. Зола (0,5–3% массы) нетоксична, богата калием и фосфором. Идеальное удобрение для сада и огорода.

Если сравнивать пеллеты с другим топливом, то пеллеты лучше угля, так как они выделяют меньше SO<sub>2</sub>, сере, золе, но при плохом котле, PM2.5 выделяется больше. В конкуренции с газом, пеллеты лучше для климата, но хуже для местного воздуха.

Таким образом, пеллеты экологичны только при трёх условиях: отходы как сырьё, короткая логистика, современный котёл. Иначе они создают новые проблемы вместо решения старых.

### **Библиографический список**

1. **Майсюк Е.П.**, Губий Е.В. Эффективность использования древесного топлива на Байкале // ЭКО. – 2023. – Т. 53, № 3. – С. 110-123.

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

## **ПРОИЗВОДСТВО ПЕЛЛЕТ ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕVOOБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА**

Надежность, экономичность и безопасность работы всего теплоэнергетического комплекса во многом определяется применяемым топливом. На сегодняшний день наблюдается снижение запасов традиционных видов топлива и все острее встает вопрос о применении возобновляемых топливных ресурсов. Одним из решений данной проблемы является применение топливных пеллет.

Производство пеллет даёт вторую жизнь опилкам, стружке, щепе, коре, лузге подсолнечника, соломе. Вместо того чтобы гнить на свалках (выделяя метан, более опасный парниковый газ), эти отходы превращаются в полезное топливо. При этом, пеллеты имеют низкую зольность (от 0,5% до 3% в зависимости от класса) и горят практически без дыма, сажи и серы. При правильном сжигании выбросы вредных веществ (СО, NOx, диоксинов) значительно ниже, чем от дров или угля. Экологичное производство. При прессовании пеллет не используются никаких химических связующих. Роль природного «клея» выполняет лигнин — вещество, которое содержится в клетках растений и размягчается при нагреве под давлением.

Пеллеты производят из сырья, которое для пеллет может быть разным, но главное требование — достаточное содержание лигнина и низкая влажность (обычно 10–15%). Основные виды сырья:

- Древесные отходы: опилки, стружка, щепа, кора, горбыль, отходы лесопиления и мебельного производства.
- Сельскохозяйственные отходы: лузга подсолнечника, шелуха гречихи, рисовая шелуха, солома зерновых, кукурузные стержни, отходы льна и рапса.
- Торф (хотя он возобновляется очень медленно, и его экологичность спорна).
- Быстрорастущие культуры: ива, мискантус, тополь, специально выращиваемые на энергетических плантациях.

Важно, что для качественных пеллет используют однородное сырьё без примесей песка, земли и металла. Лучшие пеллеты («белые») делают только из чистой древесины без коры.

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

## **ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ: ПЕРЕСТРОЕНИЕ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ТЕПЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ**

В последние годы концепция цифровых двойников приобретает всё большее значение в области энергетики и управления промышленными процессами. Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель, воспроизводящую характеристики и поведение физического объекта или системы в реальном времени. Это открывает новые возможности для оптимизации работы оборудования, систем мониторинга и диагностики и что наиболее актуально, для обоснования работы в самых критических режимах.

В настоящем исследовании был разработан цифровой двойник для тепловой схемы установки с турбинной ПТ-60-130 с использованием программного обеспечения RASPAR-2.1. Эта программа позволяет моделировать теплогидравлические процессы в энергетических системах, что значительно повышает точность прогнозирования их работы.

Процесс создания цифрового двойника включал в себя сбор данных о работе установки, характеристиках её элементов и факторов, влияющих на её эффективность. В результате была сформирована нодализованная схема, которая демонстрирует основные параметры работы установки в различных режимах.

Преимущества использования цифровых двойников очевидны: они позволяют не только проводить анализ текущего состояния объектов, но и предсказывать поведение системы с учетом изменений, так как схема установки может дорабатываться учитывать изменения в проекте в будущем [1]. Это позволяет заблаговременно выявлять потенциальные проблемы и принимать меры по их устранению, что улучшает надёжность работы тепловых установок и снижает эксплуатационные риски. В рамках экспериментов был проведён анализ различных режимов работы установки ПТ-60-130. Сравнение данных, полученных из цифрового двойника, с экспериментальными показателями покажет высокую степень соответствия, что подтвердит адекватность модели. Таким образом, разработка цифрового двойника для тепловой установки с турбинной ПТ-60-130 демонстрирует высокий потенциал применения этой технологии в практике управления тепловыми процессами.

### **Библиографический список**

1. Sato H, Johnson R, Schultz R. Computational fluid dynamic analysis of core bypass flow phenomena in a prismatic VHTR // *Annals of Nuclear Energy*. — Т. 37, № 9, С. 1172–1185. — 2010

**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.В. Муравьёва, студ.; рук. Е.Н. Макеева, к.т.н., доц.  
(ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель)*

## **АНАЛИЗ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ 2020–2025 ГГ.**

Настоящий доклад посвящён анализу сезонной динамики ключевых гидрологических характеристик водных объектов, обеспечивающих нужды энергетической инфраструктуры Гомельской области в период 2020–2025 годов. Объектами наблюдения являются р. Сож, р. Беседь, Чигиринское водохранилище, Припять, Березина, Ипуть, Птичь и ряд малых водотоков в зоне размещения тепловых и гидроэнергетических станций. Актуальность: наблюдения за климатическими изменениями стока рек Гомельщины дали понять о неравномерности сезонного стока. Своевременный количественный анализ сезонной динамики гидрологических показателей даст понять необходимые принципиальные области и направление развития. Новизна: сформирована непрерывная база данных за 2020–2025 гг. по энергообъектам Гомельской области. Личный вклад: формирование исходной базы данных путём систематизации открытых фондовых материалов Департамента по гидрометеорологии Беларуси, Государственного водного кадастра и технических отчётов энергообъектов за 2020–2025 гг.; Практическая ценность: Выявленные закономерности применимы для смежных отраслей: водного транспорта и коммунального водоснабжения области. Перспективы использования полученных результатов: В долгосрочной перспективе (2028–2035 гг.) результаты могут служить калибровочной основой для региональных климатических сценариев, разрабатываемых в рамках выполнения Республикой Беларусь обязательств по Парижскому соглашению.

За анализируемый период выявлены устойчивые сезонные закономерности, характерные для умеренно-континентального климата с нарастающим влиянием климатических изменений. Весеннее половодье (март–май) фиксирует максимальные уровни воды и расходы, критически важные для функционирования охладительных контуров станций. Летний меженный период сопровождается снижением расходов до 95–160 м<sup>3</sup>/с, что создаёт риски перегрева технологического оборудования. Зимний период характеризуется минимальными температурами воды и повышенной минерализацией. Кислородный режим удовлетворяет рыбохозяйственным нормативам ( $DO \geq 6$  мг/л) в течение всего

года. Весенний пик мутности достигает 72 НТЕ при концентрации взвешенных веществ до 115 мг/л.

**Таблица 1. Диапазоны сезонных колебаний основных гидрологических показателей (2020–2025)**

Показатель	Весна (мар–май)	Лето (июн–авг)	Осень (сен–ноя)	Зима (дек–фев)
Уровень воды, м	+0,8 — +1,4	–0,3 — +0,1	–0,1 — +0,4	–0,5 — –0,1
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	320–480	95–160	140–220	70–110
Минерализация, мг/л	180–240	310–420	260–340	350–450
Температура воды, °С	4–14	19–24	8–15	0,5–3

**Таблица 2. Сезонные характеристики подземных вод Гомельской области, 2025 г.**

Показатель	Зима	Весна	Лето	Осень
Минерализация, мг/л	418–422	405–418	420–428	415–420
Жёсткость, ммоль/л	8,8–9,0	8,4–8,6	9,0–9,3	8,7–8,9
Fe общ., мг/л	0,17–0,20	0,20–0,25	0,24–0,30	0,18–0,22

Наблюдается статистически значимое смещение сроков весеннего половодья на 7–12 суток раньше среднемноголетних значений. Средняя летняя температура воды в р. Сож увеличилась на 1,4 °С за пятилетний период, что усугубляет режим теплового загрязнения в зонах сброса охладительных вод. Минерализация в меженные периоды превысила нормативы для технологического водоснабжения в 2022 и 2024 годах.

Выявленные тенденции свидетельствуют о необходимости пересмотра регламентов водопользования для энергетических объектов области. Рекомендуется: [1] введение превентивного мониторинга в летне-осенний период; [2] разработка адаптационных мероприятий по снижению водоёмкости охладительных систем; [3] корректировка лимитов водозабора с учётом прогнозируемых климатических сценариев до 2030 года.

#### Библиографический список

1. **Ежегодник** качества поверхностных вод РБ за 2020–2025 г. — Минск: Белгидромет, 2025.
2. **Мониторинг** подземных вод РБ, 2020–2025 г. / РУП «Белгеология». — Минск, 2025.
3. **Государственный** водный кадастр РБ. — Минск: Белгидромет, 2024.

*В.А. Фомина, В.В. Куделко, студ.; рук. Н.В. Пантелей, ст. преп.  
(БНТУ, г. Минск)*

## **РЕСУРСНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ КОНЦЕНТРАТОВ И РАССОЛОВ ТЭС: ПРЕВРАЩЕНИЕ ОТХОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ В ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ**

Сточные воды (рассолы) рассматриваются как объект природоохранных затрат: пруды-испарители, реагентное хозяйство, системы сброса. В последние годы сформировался иной взгляд: высокоминерализованные рассолы представляют собой недоиспользованный ресурс, способный замещать часть органического топлива.

Перспективным направлением использования рассолов является гидротермальная карбонизация осадков сточных вод, которые образуются при промывках оборудования и регенерации ионообменных фильтров [1]. Технология предполагает термическую обработку влажной биомассы при  $t = 180-250$  °С и давлении насыщенного пара. При этом формируется гидрофобный биоккок с теплотворной способностью 20-25 МДж/кг, сопоставимой с бурым углем. Продукт может сжигаться в пылеугольных котлах в смеси с основным топливом, замещая до 20-25 % угля без модернизации горелочных устройств, одновременно решая проблему складирования обезвоженных осадков. Также рассолы используются в качестве дисперсионной среды при получении водоугольного топлива. Сжигание таких суспензий снижает выбросы оксидов серы на 25-30% за счет связывания серы с минеральными компонентами рассола. Более глубокая переработка рассолов возможна методами сверхкритической водной газификации. Вода выступает окислителем (при температуре  $>374$  °С, давлении  $>22,1$  МПа), разлагая органику с образованием синтез-газа ( $H_2$  и  $CH_4$ ). При высокой минерализации рассолов (более 100 г/л) акцент смещается на извлечение ценных компонентов. Интеграция мембранных установок с замкнутым циклом и термических кристаллизаторов позволяет достичь степени извлечения воды более 98 % и получить соли ( $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $MgSO_4$ ).

Таким образом, концентраты и осадки ТЭС являются ресурсной базой для получения топлива и ценных компонентов.

### **Библиографический список:**

1. **Алхасов, А.Б.** Комплексное освоение рассолов Берикейского геотермального месторождения / А.Б. Алхасов, Д.А. Алхасов // Теплоэнергетика. – 2024. – №5. – С. 101-106.

*Я.П. Леонкин, студ.; рук. Н.А. Озеров, к.т.н., доц.,  
Т.В. Никитюк, к.х.н.  
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)*

## **ТРЕБУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЖЕСТКОСТИ ВОДНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Процессы водоподготовки имеют большое значение для надежной, безопасной и экономичной работы теплоэнергетических установок (ТЭУ) – тепловых и атомных электрических станций (ТЭС, АЭС), теплоэлектростанций (ТЭЦ), котельных различного назначения.

Одним из ключевых показателей качества питательной воды для ТЭУ является общая жесткость. Избыточная жесткость воды может стать причиной значительного роста тепловых нагрузок поверхностей теплообмена, в том числе парообразующих труб парогенераторов, послужить причиной нарушения предусмотренного температурного режима, увеличения гидравлических потерь и, в конечном счете, привести к выходу из строя дорогостоящего основного и вспомогательного оборудования [1]. Особенную актуальность данная проблема приобретает для ТЭС, ТЭЦ и АЭС, которые в настоящее время работают в основном на высоких и сверхвысоких параметрах, что ускоряет физико-химические процессы накипеобразования, загрязнения пара и коррозии металла, затрудняет обеспечение сохранности металла котлов, турбин и оборудования тракта питательной воды.

Нами проведено исследование влияния жесткости питательной воды (исходной воды) для ТЭЦ установленной мощностью 1000 Гкал/ч, оснащенную паровыми котлами (давление 140 кгс/см<sup>2</sup>) и паровыми турбинами объемным методом анализа. Общая жесткость составила  $1,03 \pm 0,11$  мг-экв/дм<sup>3</sup>. В исследовательских целях определена временная ( $0,63 \pm 0,012$  мг-экв/дм<sup>3</sup>) и постоянная жесткость (по разнице общей и временной –  $0,40$  мг-экв/дм<sup>3</sup>). Результаты соответствуют требованиям к воде для котлов на 14 Мпа, работающих на газообразном топливе: общая жесткость 1 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Таким образом, для обеспечения надежной работы ТЭУ необходимо строго поддерживать эксплуатационные нормы допустимой жесткости в питательной воде.

### **Библиографический список**

1. Бубеева И. А., Тыскинеева И. Е., Банзаракаев А. Б. Возможность смены источника водоснабжения системы водоподготовки ТЭЦ // Энергосбережение и водоподготовка. 2023. № 2 (142). С. 7–10.

*М.А. Ареховская, студ.; рук. Е.Н. Макеева, к.т.н., доц.  
(ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель)*

## **СОСТАВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА, СИНТЕЗИРОВАННОГО ИЗ ДИЗЕЛЬНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ**

Необходимо изучать влияние концентрации дизельного дистиллята на свойства печного бытового топлива (далее – ПБТ), так как правильный выбор концентраций помогает избежать проблем с запуском, образованием нагара, засорением топливной системы и другими техническими аспектами. Влияние концентрации дизельного дистиллята на свойства топлива помогает обеспечить стабильное качество и соответствие стандартам, создавать более экономичные и надежные виды топлива.

Путем интенсивного подмешивания дизельного дистиллята в ПБТ были получены эмульсии, состоящие из ПБТ и 10 до 50 % дизельного дистиллята вторичной перегонки. Исследования показывают, что добавление дизельных дистиллятов вторичной перегонки в ПБТ улучшает некоторые характеристики.

Было установлено, что температура вспышки и воспламенения при увеличении концентрации дистиллята уменьшается, но при это остается выше, чем у мазута и дизельного топлива. При использовании топлива с более низкой температурой вспышки оно будет легче испаряться, так как имеет более легкие и мелкие молекулы [1]. А значит нужно будет затратить меньше энергии для начала горения. Отрицательным фактором является повышение пожароопасности топлива, поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности. При увеличении концентрации дизельного дистиллята до 50 мл вязкость снизилась в 1,5 раза.

Применение полученного энергетического топлива на основе дизельного дистиллята позволяет улучшить показатели плотности и вязкости. При использовании такого топлива значительно снизятся выбросы в окружающую среду и показатели нагарообразования, что оказывает положительное влияние на эксплуатацию оборудования.

### **Библиографический список**

1. **Макеева, Е. Н.** Свойства эмульсий печного бытового топлива / Е. Н. Макеева, А. А. Ковальчук // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого: научно-практический журнал. – 2024. – № 3. – С. 53–58.

*А.С. Павлинова, маг.; рук. Е.А. Карпычев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРАНСПОРТА КАЛЬЦИЯ

В работе рассмотрен принцип действия современных интегрированных ингибиторов на примере «Опцион» и «Акварезалт» в системах оборотного охлаждения АЭС.

Ключевая технология Опцион основана на использовании фосфонатов (чаще всего гидроксипропилендифосфоновой кислоты – HEDP, или аналогичных) в сочетании с специальными полимерными дисперсантами и органическими ингибиторами коррозии [1].

Ключевая технология Акварезалт основана на действии полимеров с контролируемым средством к поверхности. Её часто называют технологией «полимерной плёнки» или «зелёной химией», так как она практически не содержит фосфора (P) и тяжёлых металлов (Zn).

Основной оперативный параметр для регулирования продувки СОО – определение кальциевой жесткости, которая используется в расчете транспорта кальция (кальциевого баланса). Это ключевой расчетный параметр, который показывает, работает ли антискалантная программа эффективно. Физический смысл: сравнение теоретического количества кальция, которое должно находиться в системе (исходя из подпитки и  $K_{цикл}$ ), с фактически измеренным.

Методика расчета:

1. Измеряется концентрация кальция в оборотной воде ( $[Ca^{2+}]_{об.}$ ) и в подпиточной воде ( $[Ca^{2+}]_{под.}$ ), определяется  $K_{цикл}$  (по хлоридам).

2. Рассчитывается теоретическая концентрация кальция ( $[Ca^{2+}]_{теор.}$ ):  
$$[Ca^{2+}]_{теор.} = [Ca^{2+}]_{под.} \cdot K_{цикл}$$

Это концентрация, которая была бы в системе, если бы весь кальций оставался в растворе (100 % транспорт).

3. Расчет TRC:  $TRC = ([Ca^{2+}]_{об.} / [Ca^{2+}]_{теор.}) \cdot 100, \%$

- TRC = 95–105 %: идеально. Весь кальций находится в растворе, антискалантная программа работает эффективно.

- TRC < 95 %: происходит потеря кальция из раствора, то есть его выпадение в осадок где-то в системе.

- TRC > 105 %: возможно, произошло загрязнение системы кальцием извне (например, протечка в конденсаторе).

### Библиографический список

1. Петрова Т.И., Репин Д.А. Факторы, влияющие на работу оборотных систем охлаждения тепловых станций // Вестник МЭИ. – 2009. – № 1. – С. 106–111.

*М.С. Нартя, В.Н. Русяев, Е.Г. Ухалова, асп.;  
рук. А.Б. Ларин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ИНГИБИТОРА СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ СОО ТЭС

Проведен обзор реагентов в условиях высокой карбонатной жесткости воды и использования продувки систем оборотного охлаждения (СОО) с башенными испарительными градирнями [1].

С учетом условий эксплуатации СОО и поставленных задач, проведен анализ применяемых в РФ реагентов для стабилизационной обработки и выбран перечень продуктов, соответствующий поставленным критериям по наличию сертификационных документов, опыта применения, соблюдении ПДК для проведения дальнейших сравнительных лабораторных испытаний, целью которых является подбор имеющихся или разработка новых отечественных реагентов. По результатам испытаний пяти образцов отобран наиболее подходящий для условий эксплуатации СОО конкретного объекта. Полученные результаты по первому этапу сравнительных лабораторных испытаний сведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты первого этапа сравнительных лабораторных испытаний

Образец	Плотность раствора, г/мл	$V_{Ca(CH_3COO)_2}$	A
Реагент №1	1,008	2,35	282,3
Реагент №2	1,002	1,84	222,6
Реагент №3	0,994	2,39	294,1
Реагент №4	1,002	2,45	296,9
Реагент №5	1,001	1,75	211,6

где,  $V$  – объем, мл (0,25 М раствора  $Ca(CH_3COO)_2$  пошедший на титрование 100 мл пробы 0,2% реагента;  $A$  – диспергирующая способность, мг  $CaCO_3$  на гр. образца

По второму этапу испытаний лучший результат в минимальной дозе  $5 \text{ мг/дм}^3$  (89 % защиты от накипи) показал реагент № 4. Согласно предоставленным производителем сопроводительным документам, реагент содержит в своем составе: 2-фосфонобутан-1,2,4-трикарбоновую кислоту (CAS № 37971-36-1) и гидролизованный полималеиновый ангидрид (CAS № 26099-09-2). С учетом показателей качества реагента № 4 ведутся исследования и разработка нового реагента.

### Библиографический список

1. **Попов К.И.** Современное состояние разработок биоразлагаемых ингибиторов солеотложений для различных систем водопользования (обзор) / К.И. Попов, Н.Е. Ковалева, Г.Я. Рудакова [и др.] // Теплоэнергетика. – 2016.–№2. –С. 46-53.

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

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ТРАПНЫХ ВОД В СИСТЕМАХ СВО**

Система переработки трапных вод играет ключевую роль в обеспечении водно-химического режима АЭС [1], отвечая за сбор и очистку трапных вод с последующим возвратом дистиллята в цикл. Одним из узлов, лимитирующих надежность системы, является блок предварительной очистки от механических примесей.

Для защиты выпарных аппаратов и регуливающей арматуры используются сетчатые фильтры. Эксплуатационная практика показывает, что при поступлении трапных вод с повышенным содержанием взвесей и шлама сетчатые элементы подвержены быстрому забиванию.

Это приводит к следующим негативным последствиям:

- 1) росту перепада давления на фильтрах и снижению производительности системы;
- 2) необходимости частых промывок и переходов на резервные фильтр-сетки;
- 3) обслуживанию фильтр-сеток в ручном режиме, что увеличивает дозовые нагрузки на персонал.

В качестве модернизации узла предлагается замена сетчатых фильтров на современные гидроциклоны [2], обладающими следующими преимуществами:

- 1) непрерывность процесса: в отличие от фильтр-сеток, гидроциклон не требует остановки для механической очистки фильтрующего элемента;
- 2) эффективность сепарации: центробежный принцип разделения сред позволяет эффективно удалять частицы высокой плотности даже малых фракций;
- 3) стабильность гидравлики: гидроциклоны обеспечивают постоянное гидравлическое сопротивление, что упрощает автоматическое регулирование расхода трапных вод на заданном уровне.

### **Библиографический список**

1. **Пасевич В.Л.** Очистка радиоактивно-загрязненных вод. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
2. **Терновский И.Г., Кутепов А.М.** Гидроциклонирование. – М.: Наука, 1994. – 350 с.

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

## КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ

Колебательные реакции — это специфические химические процессы, при которых концентрации промежуточных веществ, скорость реакции и окраска раствора меняются периодически (циклично), а не монотонно, как в обычных реакциях. Они работают как химические «автоколебательные» системы, напоминая «химические часы», где система возвращается в исходное состояние несколько раз, прежде чем реакция завершится. Колебательные процессы в энергетике охватывают как физические колебания напряжения/тока (причины: резкие изменения нагрузки, дуговые печи, электроприводы), так и химические реакции, где компоненты периодически меняют цвет или выделяют газ. Они вызывают фликер, перегрев оборудования, нарушения в работе ЭВМ и снижение срока службы ламп. Химические колебательные реакции используются в химической энергетике для изучения механизмов управления процессами. Колебательные реакции играют роль в неравновесных системах, что позволяет их использовать для повышения эффективности химических процессов.

В работе проведены колебательная реакция Бриггса-Раушера, основанная на циклическом окислении-восстановлении йода в присутствии перекиси водорода, иодата калия, марганца(II), крахмала и малоновой кислоты. В реакции можно отметить основные стадии, а именно:

- 1) Образование иода:  $\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ;
- 2) Восстановление иода:  $\text{I}_2 + \text{CH}_2(\text{COOH})_2 \rightarrow 2\text{I}^- + \text{CH}(\text{COOH})_2 + 2\text{H}^+$ ;
- 3) Регенерация иодата:  $\text{IO}_3^- + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

В ходе химических реакций происходит изменение цвета от янтарного до темно – синего с определенной периодичностью.

Рассмотрено современное состояние колебательных химических реакций, некоторые аспекты их использования в различных областях науки, механизмы возникновения сложных явлений в колебательных реакциях.

Изучение таких реакций помогает моделировать системы, где требуется контроль за энергией, включая понимание того, как нежелательные перепады температуры/концентрации влияют на безопасность.

### Библиографический список

1. Гарел Д., Гарел О. Колебательные химические реакции.: пер. с англ.—Москва: Мир, 1986.-148с.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ ПЕРЕД УСТАНОВКОЙ ОБРАТНОГО ОСМОСА

Для получения добавочной воды на ТЭС и АЭС используют мембранные технологии. Показатели работы водоподготовительной установки (ВПУ) на базе установки обратного осмоса значительно зависят от схемы подготовки исходной воды перед ней для предотвращения образования на поверхности мембран минеральных отложений [1].

С использованием компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» [2] был выполнен многовариантный технологический расчёт ВПУ и определены её основные показатели работы.

Анализ полученных результатов расчёта показал, что ионный обмен наиболее надёжный способ предотвращения образования отложений на поверхности мембраны. Однако это самый затратный и наименее экологичный способ подготовки воды перед УОО. Использование противоточных технологий и обработка только части воды на ионитах сглаживает эти недостатки. Дозирование в воду антискалянта и серной кислоты наиболее экологичные технологии подготовки воды перед УОО.

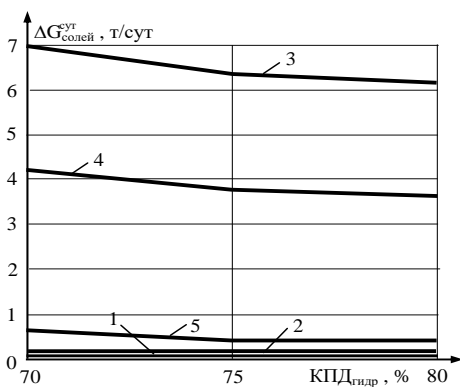


Рис. 1. Зависимость суточного сброса солей, вносимых ВПУ от вида обработки исходной воды перед УОО и степени выхода пермеата (КПД<sub>гидр</sub>): 1 – подкисление серной кислотой; 2 – добавление антискалянта; 3, 4 – умягчение воды на прямоточном и на противоточном Na-катионитном фильтре; 5 – умягчение на Н-карбоксылитном фильтре

### Библиографический список

1. Бушуев, Е.Н. Ресурсосберегающие и малоотходные технологии водоподготовки на ТЭС и АЭС: Учеб. пособие / Е.Н. Бушуев // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2025. – 228 с.

2. Бушуев, Е.Н. Использование компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» для проведения технологического расчета и анализа технологий обессоливания воды на ТЭС и АЭС / Е.Н. Бушуев Е.Н., А.Ю. Жолобова // Вестник ИГЭУ. – 2024. – №. 4. – С. 5-14.

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

## **«ВЕЧНЫЕ» ХИМИКАТЫ В КОНТУРАХ ТЭС: РИСКИ КОРРОЗИИ, ТЕПЛООБМЕНА И МЕТОДЫ ОЧИСТКИ**

Пер- и полифторалкильные вещества (ПФАС) представляют собой обширную группу синтетических соединений, широко применяемых в промышленности благодаря уникальным свойствам: термостойкости, химической инертности, низкому коэффициенту трения и водоотталкивающим характеристикам. В то же время прочность связи углерод–фтор обуславливает экстремальную стойкость ПФАС в окружающей среде, что привело к их глобальному распространению, биоаккумуляции и накоплению в организме человека. В работе рассмотрены классификация ПФАС, области применения, механизмы токсического действия, а также методы очистки воды, включая сорбцию на активированном угле, ионный обмен и мембранные технологии [1].

В результате судебных исков и работы независимой научной группы С8 была доказана связь между воздействием перфтороктановой кислотой (ПФОК) и развитием рака и других патологий. В 2024 г. агентство по охране окружающей среды США (EPA) установило предельно допустимые концентрации основных ПФАС в питьевой воде на уровне 4–10 ppt (частей на триллион) [2].

Для теплоэнергетического оборудования присутствие ПФАС в воде создаёт дополнительные риски: риск кислотной коррозии, термическое разложение с образованием плавиковой кислоты, а также снижение эффективности теплообмена из-за поверхностно-активных свойств и пенообразования. Эффективное удаление ПФАС достигается с помощью активированного угля (67–100 %), ионообменных смол (>90 %) и мембран обратного осмоса (>99 %), тогда как традиционные методы водоподготовки малоэффективны [3]. Таким образом, проблема ПФАС представляет системный вызов для промышленной безопасности, энергетического оборудования и здоровья населения.

### **Библиографический список**

1. **История науки:** случайность, ставшая знаменитостью. [Электронный ресурс]. – 2017. – URL: <https://indicator.ru/chemistry> (дата обращения: 18.10.2025).
2. **Регулирование** ПФАС в США. [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://www.culligan.com/blog/pfas-regulations-us> (дата обращения: 19.10.2025).
3. **Состояние** технологий очистки воды, загрязненной ПФАС, и факторы, ограничивающие их эффективное полномасштабное применение. [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.nature.com/articles> (дата обращения: 27.01.2026).

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

## **ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМ СПЕЦВОДООЧИСТКИ НА ДЕЙСТВУЮЩЕЙ АЭС**

Системы спецводоочистки (СВО) играют ключевую роль в обеспечении безопасности АЭС, так как позволяют контролировать радиоактивные и химические загрязнения, предотвращать коррозию оборудования и поддерживать стабильность водно-химического режима. СВО обеспечивают поддержание рабочей среды в пределах нормируемых показателей. Их эффективная работа способствует оптимизации эксплуатационных затрат за счёт продления срока службы оборудования и минимизации простоев. Поддержание примесей воды на очень низком уровне является одной из важных задач на пути совершенствования технологии теплоносителя, обеспечивающих надёжности и эффективность эксплуатации оборудования и радиационную безопасность персонала.

Одной из важных на АЭС является СВО по очистке воды топливного бассейна и баков хранения борированной воды. Функциями этой системы являются очистка воды топливного бассейна от механических и растворённых примесей с целью снижения её активности и обеспечения прозрачности, а также очистка воды баков-приямков хранения борированной воды низкой концентрации от этих примесей. По проекту на АЭС в состав этой СВО входят намывные ионитные фильтры (НИФ), фильтры смешанного действия и фильтр-ловушка. В ходе эксплуатации СВО была установлена низкая эффективность работы НИФ, связанная со сложным процессом намытия и поддержания слоя порошкообразного ионита и низкой степенью очистки. В целях совершенствования технологии очистки предлагается замена НИФ на ионитный фильтр с загрузкой фосфорнокислотным катионитом.

Фосфорнокислотные катионитные фильтры обладают высокой селективностью к поливалентным ионам, включая железо, медь, хром и другие металлы, которые могут присутствовать в воде топливного бассейна в виде продуктов коррозии. Это позволяет более эффективно удалять растворённые формы этих элементов, что важно для поддержания прозрачности воды и снижения радионуклидного загрязнения.

Несмотря на возможные более высокие начальные затраты на внедрение фосфорнокислотных катионитных фильтров, их использование может снизить эксплуатационные расходы за счёт увеличения продолжительности фильтроцикла, уменьшения частоты регенераций и продления срока службы оборудования.

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

## АНАЛИЗ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ НА РЕСУРСЫ ПРИ ОБЕССОЛИВАНИИ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КПД УОО

Для очистки воды на ТЭС в настоящее время часто используют обратный осмос – метод с низкими расходами реагентов и высокими экологическими показателями, но значительными затратами на собственные нужды [1].

С помощью программы «ПРОЕКТ ВПУ» [1] выполнен многовариантный расчёт ВПУ для подготовки воды перед УОО. На рис. 1 представлена полученная зависимость удельных затрат (реагенты, речная вода, тепловая энергия) при обессоливании от гидравлического КПД УОО и способа предварительной обработки.

Анализ результатов исследования показывает, что при низком гидравлическом КПД УОО без реагентной обработки работа ВПУ является более затратной, чем при эксплуатации УОО с более высоким выходом пермеата. С повышением гидравлического КПД хотя и для ряда рассматриваемых вариантов увеличивалась потребность в реагентах, но суммарные затраты на ресурсы уменьшаются.

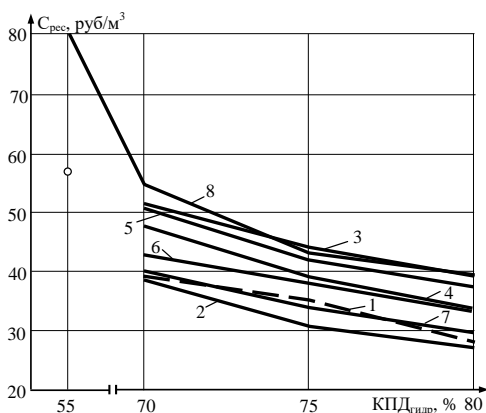


Рис. 1. Зависимость удельных затрат на ресурсы на обработку исходной воды перед УОО от вида обработки и степени выхода пермеата (КПД<sub>гидр</sub>):

1 – подкисление серной кислотой; 2 – добавление антискалянта; 2,3 – умягчение всего потока воды на прямоточном и противоточном Na-катионитном фильтре; 4 – умягчение на H-карбоксильном фильтре; 5 – умягчение части исходной воды перед УОО на противоточном Na-катионитном фильтре; 7 – умягчение части исходной воды перед УОО на H-карбоксильном фильтре; 8 – использование воды обработанной методом коагуляции с известкованием в осветлителе

### Библиографический список

1. Бушуев, Е.Н. Использование компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» для проведения технологического расчета и анализа технологий обессоливания воды на ТЭС и АЭС / Е.Н. Бушуев Е.Н., А.Ю. Жолобова // Вестник ИГЭУ. –2024. – №. 4. –С. 5-14.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ХИМИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ УМЯГЧЕНИЕМ МЕТОДОМ НАНОФИЛЬТРАЦИИ

При проектировании водоподготовительной установки (ВПУ) на ТЭС и АЭС часто рассматривается схема обессоливания на основе нанофильтрации с последующим противоточным ионированием [1]. Согласно этой схеме (рис. 1), осветлённая вода после установки ультрафильтрации (УУФ) поступает на установку нанофильтрации (УНФ), где происходит удаление значительного количества ионов, что обеспечивает уменьшение ионной нагрузки на ионитные фильтры. Частично обессоленная вода далее очищается на противоточных Н-ОН-ионитных фильтрах. При нарушении в работе УНФ обессоливание будет обеспечиваться ионитной ступенью.

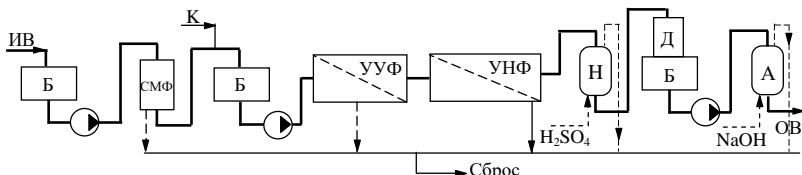


Рис. 1. Схема обессоливания воды на основе УНФ и ступени противоточного Н-ОН-ионирования:

ИВ – исходная вода; Б – промежуточный бак; СМФ – самопромывные механические фильтры; К – ввод раствора коагулянта; Д – декарбонизатор; ОВ – обессоленная вода

С использованием компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» [2] был выполнен многовариантный технологический расчёт ВПУ, работающей по рассматриваемой схеме и определены её основные экологические, технологические и технико-экономические показатели. Анализ полученных результатов показал, что по сравнению с технологией противоточного ионирования значительно снижается потребность в кислоте и щелочи, но при этом возрастает расход воды на собственные нужды. Этот эффект зависит от марки используемой нанофильтрационной мембраны при обработке воды.

### Библиографический список

1. Бушуев, Е.Н. Ресурсосберегающие и малоотходные технологии водоподготовки на ТЭС и АЭС: Учеб. пособие / Е.Н. Бушуев // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2025. – 228 с.
2. Бушуев, Е.Н. Использование компьютерной программы «ПРОЕКТ ВПУ» для проведения технологического расчёта и анализа технологий обессоливания воды на ТЭС и АЭС / Е.Н. Бушуев Е.Н., А.Ю. Жолобова // Вестник ИГЭУ. – 2024. – №. 4. – С. 5-14.

*К.В. Зотова, ст. преп.; рук. А.Б. Ларин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПЕРВИЧНОГО КОНДЕНСАТА ЦНД ПГУ**

Одной из наиболее критических зон в тепловом контуре ПГУ является ЦНД, где при расширении пара происходит его переход через линию насыщения. В этой области формируется первичный конденсат, физико-химические свойства которого значительно отличается от параметров объемной фазы теплоносителя. Проблема заключается в том, что высоколетучие компоненты, такие как аммиак и угольная кислота, обладают существенно различающимися коэффициентами распределения ( $K_D$ ) между паром и жидкостью. Вследствие чего угольная кислота интенсивно поглощается первичными каплями влаги, в то время как аммиак преимущественно остается в паровой фазе. Это приводит к возникновению локального дефицита щелочного буфера и формированию в пристенном слое агрессивной среды с высокой концентрацией угольной кислоты, что интенсифицирует эрозионно-коррозионный износ и растрескивание металла лопаток турбин даже при соблюдении нормативных показателей качества пара [1].

Для решения задачи оперативной диагностики коррозионной активности теплоносителя разработан расчетно-аналитический метод определения ионного состава первичного конденсата в режиме реального времени. В основу методики заложен алгоритм расчета рНt при рабочей температуре по значениям УЭП прямой и Н-катионированной пробы, и рН, измеренным в охлажденных пробах. Используя данные от прямых измерений УЭП, рН и t, математическая модель позволяет вычислить содержание  $\text{CO}_2$  и фактическое значение высокотемпературного показателя рНt непосредственно в зоне фазового перехода. Преимуществом данного подхода является возможность определения параметров теплоносителя без использования специализированных селективных датчиков, что позволяет интегрировать расчетный модуль в существующие программные комплексы СХТМ.

Показана высокая сходимость результатов во всем рабочем диапазоне параметров ЦНД с данными программного комплекса PHREEQC [2].

### **Библиографический список**

1. **Богачев А.Ф.** Изучение и предотвращение коррозии металла в зонах фазовых превращений энергетических установок // Теплоэнергетика. 1996. №8. С. 17-24
2. **Parkhurst, D. L. and Appelo, C. A. J.** Description of input and examples for PHREEQC version 3 // A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations . — Denver : U.S. Geological Survey. 2013. P. 497

**СЕКЦИЯ 3**

**ХИМИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Председатель

к.х.н., доцент **Хрипкова Л.Н.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Ярунина Н.Н.**

*В.В. Кулешов, студ.; рук. М.А. Климова, к.т.н., доц.  
(НИУ «МЭИ», Москва)*

## **О ПРИМЕНЕНИИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Развитие водородной энергетики обуславливает интерес к исследованию динамических режимов работы электролизных установок. В связи с этим возникает задача анализа устойчивости процессов электролиза воды и определения диапазонов параметров, при которых математическая модель корректно описывает поведение реального объекта.

Современные методы теории управления позволяют анализировать зависимость устойчивости не только от управляющих воздействий, но и от текущего состояния системы и значений параметров модели. Такой подход особенно актуален для электрохимических систем, характеризующихся выраженной нелинейностью, наличием взаимосвязанных тепловых, массообменных и электрохимических процессов, а также возможностью нестационарных режимов. В работе рассматривается возможность применения современной теории управления к математическому описанию процессов электролиза при представлении модели электролизера в пространстве состояний:

$$X = AX + BU \text{ и } Y = CX + DU,$$

где  $X$  и  $U$  - векторы переменных состояния и управляющих воздействий,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  – матрицы состояния, управления, выхода и связи соответственно. Нелинейная модель линеаризуется, после чего анализируются действительные части собственных чисел матрицы Якоби: если они отрицательны, режим работы устойчив, в противном случае - линейно неустойчив. Через сравнение реального поведения системы и оценки её устойчивости также можно сделать вывод о корректности модели. В электролизе такой подход позволяет как учитывать влияние плотности тока, температуры электролита, концентрации щелочи, перенапряжения электродных реакций и других факторов на устойчивость процесса, так и проводить верификацию построенных моделей.

Таким образом, современная теория управления представляет собой перспективный инструмент исследования электрохимических систем, позволяющий перейти к изучению структуры областей устойчивого функционирования, а также использовать результаты математического анализа для верификации и совершенствования моделей электролизных установок.

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

## **ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНЦОВО-ВИСМУТОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ГРАЖДАНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Приоритетными задачами развития энергетики России являются обеспечение надёжного энергоснабжения удалённых и труднодоступных регионов, в первую очередь Арктической зоны, и развитие замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ).

Реализовывать ЗЯТЦ позволяют реакторы на быстрых нейтронах, используя в топливном цикле уран-238, из которого более чем на 97% состоит природный уран, что позволяет многократно уменьшить расход последнего и существенно снизить объёмы радиоактивных отходов. Совмещение ЗЯТЦ с атомными станциями малой мощности (АСММ) на свинцово-висмутовом теплоносителе (СВТ) в труднодоступных районах повышает экономическую эффективность за счёт снижения потребности в топливоснабжении.

В статье описываются и сравниваются характеристики различных типов теплоносителей, в том числе свинцово-висмутовой эвтектики. В результате описания и сравнения свойств различных теплоносителей делается вывод о возможности и перспективах использования СВТ для реализации в гражданских ядерных энергетических установках.

Излагается краткая история освоения и развития реакторов с СВТ: от изначального военного применения в атомных подводных лодках (АПЛ) до современных проектов атомных станций малой мощности. Рассматриваются проекты АСММ: СВБР-75 и СВБР-100. Указываются достоинства и недостатки данных типов ядерных энергетических установок, среди которых, главным образом, выделяется их пассивная безопасность, связанная со свойствами СВТ. Это крайне важный фактор, так как он напрямую связан с экологическими задачами сохранения окружающей среды. В связи с этим делается вывод о перспективности использования данного типа теплоносителя в ядерных энергетических установках гражданского назначения — не только в труднодоступных районах, но и в других сегментах энергетики.

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

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ЭКОЛОГИЮ И ЧЕЛОВЕКА. МЕРЫ СДЕРЖИВАНИЯ РАДИАЦИИ НА АЭС И БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

В современном мире растёт доля атомной энергетики в современном энергобалансе (около 10% выработки электроэнергии). Вместе с тем появляются риски загрязнения окружающей среды из-за аварий (Чернобыль, Фукусима) и накопления радиоактивных отходов. Возникает необходимость баланса между энергетической безопасностью и экологической устойчивостью (способность поддерживать экологический баланс в природной среде планеты и сохранять природные ресурсы для благополучия нынешнего и будущих поколений).

Поводом для проведения исследований послужила подготовка к выбранной профессии.

Цель работы - изучить механизмы воздействия радиации на живые организмы и экосистемы, а также проанализировать современные меры сдерживания радиационных рисков на атомных электростанциях и обеспечение безопасности ядерных энергетических установок.

Данная проблема является актуальной, так как научно доказано влияние радиации на экологию, человека и живых существ. Благодаря изучению сдерживания радионуклидов персонал станции, а также и близлежащие от АЭС населённые пункты будут находиться в безопасности от угрозы повторения аварий на АЭС. Важную роль в изучении темы является сравнение выбрасываемых отходов АЭС и ТЭС. В ходе работы рассматриваются доказательства того, почему атомные электростанции перспективнее тепловых.

Все исследования проводились на базе различных интернет -источников и научных изданий.

### **Библиографический список**

1. **Кашеев В.П.** Ядерные энергетические установки [Учеб. пособие для вузов по спец. "Тепловые электр. станции"] / В. П. Кашеев. — Минск: Вышэйш. шк., 1989. — 222 с
2. **Мархоцкий, Я. Л.** Радиационная и экологическая безопасность атомной энергетики. Минск : Вышэйшая шк., 2009. — 112 с.

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

## **ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ НА НАДЕЖНОСТЬ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СИСТЕМАХ РЗА**

Оборудование релейной защиты и автоматики (РЗА) постоянно подвергается воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды и технологических процессов. Для обеспечения стабильной работы энергосистемы критически важна надежность каждого элемента. Слабым же звеном часто оказываются контактные соединения. Именно поэтому необходимо регулярно отслеживать электрохимические процессы, протекающие на поверхности проводников под влиянием агрессивной среды.

Основная причина сбоев в работе как электромеханических, так и микропроцессорных устройств – атмосферная коррозия. В промышленных условиях, при наличии сернистого газа, оксидов азота и повышенной влажности, на медных и серебряных контактах образуются сульфидные и оксидные пленки. Эти пленки – диэлектрики. Значит, они значительно увеличивают переходное сопротивление. Для современных цифровых систем, работающих с низкими токами, даже тонкая пленка может вызвать эффект "сухого контакта", препятствуя прохождению команды на отключение аварийного участка [1].

Традиционная механическая чистка контактов (чистка абразивом) неэффективна. Она повреждает защитные покрытия и ускоряет коррозию. Поэтому предлагается комплекс мер для повышения надежности: использование контактов с многослойным покрытием из инертных благородных металлов, установка локальных систем климат-контроля в шкафах РЗА для снижения влажности, а также применение герметичных оболочек с избыточным давлением очищенного воздуха.

Главные препятствия для внедрения этих решений – высокая стоимость материалов и необходимость усовершенствования существующего оборудования. Однако предотвращение даже одной крупной аварии благодаря надежной защите полностью оправдывает затраты на антикоррозийные меры. В будущем можно создавать умные датчики, способные прогнозировать износ контактов на основе анализа химического состава среды, что позволит перейти к ремонту по фактическому состоянию.

### **Библиографический список**

1. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.

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

## **СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА АРТЕЗИАНСКОЙ ВОДЫ И ВОДЫ ИЗ ВОДОПРОВОДА Г. ИВАНОВО**

Артезианская вода — это чистая, защищенная от загрязнений глубинная (100 – 1000 м) вода, требующая очистки от избытка железа. Обычная (грунтовая/водопроводная) вода же менее защищена, требует обязательной фильтрации или кипячения.

В работе проведено исследование двух образцов (об. 1) – вода из артезианского источника д. Говядово Ивановская область, глубина скважины -27 м, год бурения - 2009; (об. 2) – вода из городского водопровода г. Иваново. Анализ проводился параллельно для образцов, отобранных в осенне-зимний период.

Артезианская вода залегает между водоупорными пластами, что исключает попадание бактерий и поверхностных загрязнений, следовательно гарантирует стабильный состав. Обычная грунтовая вода подвержена сезонным изменениям и загрязнениям.

Артезианская вода богата кальцием, магнием и фтором, часто содержит повышенное количество железа и имеет высокую жесткость. Обычная вода часто мягкая, но может содержать нитраты и органику.

Артезианская вода лучше усваивается организмом из-за сбалансированного состава, зачастую не требует кипячения.

Результаты исследований приведены в таблице.

**Таблица. Химические и физические показатели воды артезианской (об. 1) и водопроводной (об. 2)**

Образец воды	pH	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Ок, мгО/дм <sup>3</sup>	Жса	Ж <sub>Mg</sub>	Ж общ	X, мСм/см	Щ
1	7,08	0,9967	1,96	2,13	1,14	3,50	286,7	1,66
2	7,42	0,9975	6,27	1,44	1,19	3,15	416,5	3,03

Вывод: по результатам проведённых исследований видно, что артезианская вода (об. 1) оказалась жёстче водопроводной (об. 2) по всем соответствующим показателям, что подтверждает её глубинное происхождение.

Показатель окисляемости водопроводной воды (об. 2) превышает показатель артезианской (об. 1), более чем в 3 раза, что свидетельствует о высоком содержании органических веществ в водопроводной (об. 2), о чём также свидетельствует показатель удельной электропроводности. Всё это также подтверждает природу происхождения артезианской воды.

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

## **ХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГООБЪЕКТОВ: ИНТЕГРАЦИЯ С УСТРОЙСТВАМИ РЗА**

На современном этапе развития электроэнергетики критически важной задачей является переход от констатирующей релейной защиты к предиктивной диагностике состояния первичного оборудования. Традиционные устройства РЗА реагируют на электрические следствия повреждений, в то время как необратимые химические изменения в изоляционных средах начинаются задолго до возникновения короткого замыкания.

Основным объектом мониторинга выступают маслonaполненные трансформаторы и КРУЭ. При возникновении дефектов химические сенсоры фиксируют появление специфических газов-индикаторов:

Водород ( $H_2$ ): образуется при частичных разрядах низкой энергии вследствие ионизации молекул масла.

Ацетилен ( $C_2H_2$ ): является индикатором высокотемпературной дуги (свыше  $700^\circ C$ ), возникающей при деструкции твердой изоляции и масла.

Интеграция сенсоров с микропроцессорными терминалами РЗА реализуется через цифровые интерфейсы по протоколу МЭК 61850-9-2. Логика защиты дополняется адаптивным условием: при достижении критической скорости нарастания концентрации газов устройство формирует сигнал на запрет автоматического повторного включения (АПВ) или на предупредительное отключение объекта. Применение полупроводниковых и оптических газоанализаторов обеспечивает необходимую селективность в условиях сильных электромагнитных полей подстанции. Таким образом, объединение методов химического анализа и цифровой автоматики создает надежный фундамент для эксплуатации энергообъектов по их фактическому техническому состоянию, минимизируя риски техногенных аварий.

### **Библиографический список**

1. Антонов В. И., Наумкин И. Е. Современные системы мониторинга и управления силовыми трансформаторами. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2011. 96 с.
2. Шабат М. А. Автоматизация распределительных электрических сетей с использованием цифровых реле. – СПб.: ПЭИПК, 2022. 112 с.

*А.А. Бабенкова, студ.; С.А. Пислегина, студ.;  
рук. Л.Н. Хрипкина, к.х.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **КАЧЕСТВО ВОДЫ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ — ВАЖНОЕ УСЛОВИЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

Качество воды в системах теплоснабжения должно в полной мере отвечать требованиям Правил технической эксплуатации данных систем, а также санитарным нормам и правилам. Это относится к исходной воде, а что касается технической, то ее можно применять, если в наличии имеется система «термической» деаэрации. Кроме того, деаэрация требуется для обеспечения абсолютной эпидемиологической безопасности и надежности воды при использовании ее в открытых устройствах систем теплоснабжения.

Конечная цель — не допустить преждевременно коррозии металла, что приводит к преждевременному выходу оборудования из строя, образования отложений, накипи и шлама на теплопередающих элементах оборудования в котельных и системах теплоснабжения. Достигнуть этого можно за счет контроля за качеством воды и применения систем водоочистки и водоподготовки, поступающей в систему теплоснабжения.

Считается, что для достижения оптимального водно-химического режима и качества воды для работы энергетических установок достаточно обеспечить воде соответствующие концентрационные показатели, обеспечивающие ее количественные и качественные характеристики.

**Таблица. Основные показатели тепловой воды на ТЭЦ г. Иваново, взятые из открытых источников**

Показатель	рН	Fe <sup>2+</sup> мг/дм <sup>3</sup>	Cu <sup>2+</sup> мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Жобщ, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Жса, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Щ, мг-экв/дм <sup>3</sup>
ТЭЦ-2	8,6	<0,11		<0,25	2,80	1,58	1,47
ТЭЦ-3	8,5	20,00	10	10	2,30	1,63	1,47

Как видно из информационных данных, качество сетевой воды на Ивановских ТЭЦ полностью соответствует нормам контроля, что делает ее пригодной для длительного сохранения оборудования и уменьшению экономических убытков со стороны его использования.

**СЕКЦИЯ 4**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ТЕПЛОТЕХНИКИ**

Председатель

д.т.н, доцент **Бушуев Е.Н.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Корочкина Е.Е.**

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

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ELCUT ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Данная работа посвящена исследованию возможностей программного комплекса ELCUT для решения задач моделирования тепловых процессов в теплоэнергетике. Программный комплекс ELCUT (разработка ООО «Тор», Россия) представляет собой интегрированную диалоговую систему для инженерного анализа методом конечных элементов. Он позволяет решать широкий круг полевых задач, включая задачи теплопроводности. Нами выполнен обзор функциональных возможностей пакета ELCUT применительно к тепловым расчетам и проведён сравнительный с другими программными продуктами. Среди существующих программных продуктов, предназначенных для решения полевых задач, ANSYS, COMSOL, Femlab, интегрируемый в Matlab, ELCUT – практически единственный отечественный пакет может, пригодный для моделирования электромагнитных, тепловых и упругих полей [1]. Наиболее серьёзным недостатком ELCUT является то, что в программе отсутствует возможность одновременного решения нескольких полевых задач (например, Джоулев нагрев) как в ANSYS, COMSOL. Преимуществом ELCUT является наличие русскоязычной версии, документации на русском языке, большое количество примеров. Примеры непосредственно поставляются с программой. В программе ELCUT имеются развитые возможности по обработке результатов расчёта. Программный комплекс ELCUT позволяет выполнять линейный и нелинейный температурный анализ в двумерной (плоской или осесимметричной) и трехмерной постановках [2].

### **Библиографический список**

1. **Сочава М.В.** Решение полевых задач с помощью программы ELCUT 6.0. Задачи магнитостатики и магнитного поля переменных токов / М.В. Сочава – Учебное пособие. - СПб., 2014. 38 с.
2. **Ильин П.В.** Расчет и проектирование изоляции высоковольтного ввода / П.В. Ильин. – Иваново: ИГЭУ, 2023. –74 с.

*М.А. Трофимов, студ.; рук. А.А. Сатаев, к.т.н., доц.  
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ВОДНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПОРОШКОВЫХ И НАНОЖИДКОСТНЫХ ДОБАВОК**

Интенсификация теплообменных процессов в техническом оборудовании – острая проблема и цель многих современных исследований. Для её решения применяются множество способов. Они могут быть разнообразны, однако в данном исследовании рассмотрено влияние добавленных в теплоноситель искусственных примесей. В силу своих уникальных теплофизических свойств в большинстве охлаждающих элементов (в том числе и в теплообменниках) в качестве теплоносителя используется вода. Многие современные исследования направлены на улучшение этих свойств [2-3], в нашем случае на увеличение коэффициента теплопроводности. Это может быть реализовано за счёт добавления в воду различных порошков и наночастиц. Авторами для экспериментов были выбраны оксид меди (II), оксид алюминия, а также графеновая наножидкость. Все перечисленные материалы имеют размеры наночастиц, что определяет возможность заполнения ими микронеровностей на шероховатых поверхностях теплообменника. Следует отметить, что для каждого материала есть свои рекомендации по массовой доле содержания добавки в теплоносителе. Например, массовая доля графена должна быть около 0.13% для обеспечения одноатомного поверхностного слоя, который, в свою очередь, характеризует максимально эффективный теплоотвод. Для других добавок, соответственно, другие соотношения, однако для исследования выбираются именно те концентрации, которые будут обеспечивать максимальный температурный напор.

Настоящее исследование направлено на определение степени интенсификации. По предварительным оценкам, а также опыту коллег [2–3], относительное улучшение процессов теплообмена может колебаться от 15 до 40%, в зависимости от добавки и её концентрации.

### **Библиографический список**

1. **Михеев, М.А.** Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 2. – Москва: «Энергия», 1977. – 344 с.
2. Porgar, Sajjad & Rahmanian, Nejat. (2022). Investigation of Effect of Aluminium Oxide Nanoparticles on the Thermal Properties of Water-Based Fluids in a Double Tube Heat Exchanger. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 12. 2618-2628. 10.33263/BRIAC12.26182628.
3. Nasir, Faiza & Mohamad, A.Y. (2016). Heat transfer of CuO-water based nanofluids in a compact heat exchanger. 11. 2517-2523.

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

## **ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОУЛЕВА НАГРЕВА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ШИНЫ**

Данная работа посвящена мультифизическому моделированию процесса Джоулева нагрева электрической шины в среде COMSOL Multiphysics [1] в объектах, состоящих из различных материалов. В рамках исследования решалась связанная задача, включающая анализ распределения постоянного электрического тока и последующего тепловыделения. Рассматриваемая модель представляет собой электрическую шину, выполненную из меди, которая подводит постоянный ток к условному электроприбору. Материал болтов – титановый сплав. В качестве граничных условий теплопереноса задана естественная конвекция на всех внешних поверхностях, за исключением контактных площадок болтов, которые полагаются адиабатическими. Построение геометрии выполнено в параметрическом виде с использованием библиотеки приложений COMSOL. Граничные условия для электромагнитной задачи сформулированы следующим образом: на поверхности верхнего болта задан потенциал, в то время как поверхности двух нижних болтов заземлены. В результате стационарного решения связанной задачи получены распределения температурного поля и плотности тока.

В рамках сравнительного анализа были исследованы две конфигурации системы: эталонная медная шина с титановыми болтами и альтернативная – алюминиевая шина с аналогичными титановыми болтами. Целью параметрического исследования являлась количественная оценка влияния материала шины на интенсивность тепловыделения и структуру электрического поля. Результаты сравнительного анализа показали, что замена меди на алюминий приводит к снижению максимальной температуры в системе приблизительно на 0,5 %. Что касается электрического поля, абсолютные значения плотности тока ожидаемо выше в медной шине в силу более высокой электропроводности материала.

### **Библиографический список**

1. **Моделирование** физических процессов с использованием с использование пакета Comsol Multiphysics: учебное пособие для студентов высших учебных заведений/ Г.Е. Красников, О.В. Нагорнов, Н.В. Старостин. –Москва: НИЯУ «МИФИ», 2012. - 184 с.; ISBN 978-5-7262-1688-1

*А. Дюльдина, студ.; рук. Е.Е. Корочкина, к.т.н. доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново), И.Н. Пахотина (ИВГПУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА НА ТЕПЛООБМЕН В НАСОСЕ ГИДРОСИСТЕМЫ ЭКСКАВАТОРА**

В работе рассмотрен расчет теплообмена в насосе гидропривода однокорпусного экскаватора. Приводиться так же расчёт перегревов насоса при использовании в гидросистеме масла после его регенерации. Рабочей жидкостью в гидросистеме является моторное масло. В гидросистеме экскаватора может циркулировать до 15 литров масла. Моторное масло обладает достаточно высокой стоимостью. Целью регенерации является восстановление рабочих свойств использованного масла. Температура, при которой работает моторное масло в гидросистеме, может быть от 60 до 80 °С, а давление от 10 МПа. Насос может перегреваться. Ранее нами были проведены исследования влияния регенерированного моторного масла на тепловой и гидравлический режим работы гидросистемы экскаватора [1]. Нами была разработана математическая модель работы насоса в пакете прикладных программ Elcut [2]. Данная модель симулирует процесс теплопроводности в лопасти насоса при граничных условиях III рода. В результате моделирования были получены температурные поля лопасти насоса, омываемого новым и регенерированным моторным маслом.

По результатам моделирования можно сделать вывод, что насос при работе на регенерированном масле нагревается на 0,19 % сильнее, чем при работе на новом моторном масле.

А также можно сделать вывод, что в программе Elcut удобно проводить теплотехнические расчёты, а не только гидравлические и электрические.

### **Библиографический список**

1. **Исследование** влияния регенерированного моторного на теплообмен в гидроцилиндре гидропривода экскаватора / Е.Е. Корочкина, И.Н. Пахотина, И.В. Колбашов В сборнике : Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии, посвящённое 80-летию Российской атомной промышленности. В 3-х томах. Иваново, 2025. С. 252-254.
2. **Сочава М.В.** Решение полевых задач с помощью программы ELCUT 6.0. Задачи магнитостатики и магнитного поля переменных токов. Учебное пособие. / М.В. Сочава - СПб., 2014. 38 с.

М.А. Милоков студ.; рук. Д.В. Фоломеева, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ КОТЕЛЬНОЙ

Компьютерное моделирование технологических установок – это современный инструмент, который позволяет детально изучать и анализировать сложные процессы, происходящие внутри оборудования. Многие технологические процессы протекают в условиях, недоступных для прямого наблюдения. Моделирование позволяет легко визуализировать эти процессы, что способствует повышению безопасности при эксплуатации оборудования.

В данной работе создана компьютерная 3D-модель катионитного фильтра и солерастворителя водоподготовительной установки котельной. Данные модели позволяют изучить устройство и принцип работы оборудования. Компьютерная графика анимирована и озвучена.



Рис. 1. 3D-модель солерастворителя водоподготовительной установки

На рис. 1 показана созданная 3D-модель солерастворителя. Солерастворитель предназначен для приготовления регенерационного раствора поваренной соли. В модели демонстрируется как происходит загрузка соли через верхний люк. Показаны трубопроводы с запорной арматурой, через которые происходит заполнение солерастворителя водой, растворение соли и подача раствора соли на регенерацию в фильтр.

*К.А. Сторожун, С.Р. Голубев, студ.; рук. А.Е. Соборнов, к.ф.м.н.  
(НГТУ, г. Нижний Новгород)*

## **ТЕПЛООБМЕН ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ ЛЕГКОКИПАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ ФК-5-1-12**

Исследования теплообмена в элементах и конструкциях, работающих в условиях высоких плотностей теплового потока, не перестают быть актуальными на протяжении многих десятилетий. Существующая востребованность обуславливает проведение дополнительных экспериментальных работ, нацеленных на поиск новых конструктивных решений, а также материалов с уникальными теплофизическими свойствами. Подобная необходимость связана с непрерывным ростом тепловых нагрузок и строгими требованиями к термостабильности систем в области атомной энергетики, микроэлектроники, лазерных установок, электрооборудования и т.д. коэффициент теплоотдачи при кипении на плоской пластине, зачастую имеет низкие значения. Во многих обзорных статьях авторы рассматривают различные подходы к охлаждению оборудования с высоким удельным энерговыделением. Особое внимание акцентируют на методе, основанном на фазовом переходе жидкостей. На основе экспериментальных работ показано, что наиболее перспективное решение поддержания системы в определенных эксплуатационных температурных пределах - двухфазное иммерсионное охлаждение. В частности, для различных электронных устройств, применяют легкокипящие диэлектрические жидкости. Однако, по некоторым диэлектрическим жидкостям сложно найти информацию о критических тепловых потоках и максимальных коэффициентах теплоотдачи. По этой причине необходимо проведение экспериментальных работ для определения данных параметров.

В рамках настоящей работы проведено исследование критического теплового потока и максимальных коэффициентов теплоотдачи при кипении и конденсации на плоской медной пластине для диэлектрической жидкости ФК-5-1-12.

С целью повышения коэффициента теплоотдачи при кипении и конденсации, были использованы открыто-пористые структуры.

Результаты работы получены в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE-2026-0005 «Особенности процессов тепло- и массообмена в оборудовании систем преобразования энергии»).

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

## **РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ РАСПЛАВЛЕННЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ VBA EXCEL**

В данной научной работе представлена компьютерная программа, позволяющая определить коэффициент теплоотдачи, тепловые потоки и количество переданной теплоты в условиях свободной и вынужденной конвекции при нагреве или охлаждении различных объектов расплавленными металлами [1].

В качестве объектов пользователем могут быть выбраны:

- 1) вертикальные и горизонтальные цилиндры;
- 2) вертикальные пластины;
- 3) стержневые ТВЭЛы, находящиеся в треугольной решетке;
- 4) шахматные и коридорные трубные пучки.

В программе [2] представлены следующие жидкие металлы: натрий (Na); калий (K); ртуть (Hg); литий (Li); висмут (Bi); сплав 25% Na + 75% K.

После выбора расплавленного металла, вида конвекции и объекта пользователю будет предложена таблица, в которой необходимо заполнить исходные данные: температуру стенки и текучей среды, скорость течения тепло- или хладоносителя, геометрические характеристики объектов и время теплообмена.

Определение теплофизических свойств расплавленных металлов осуществляется автоматически методом линейной интерполяции встроенных в программу таблиц [3].

После ввода исходных данных пользователь получит подробный пошаговый расчет искомых физических величин.

### **Библиографический список**

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2025. – 364 с.
2. **Свидетельство** о государственной регистрации программы для ЭВМ №2026616643/ Т.Е. Созинова, Д.А. Смирнов. – Заявка №2026615571. Дата поступления 04 марта 2026 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 10 марта 2026 г.
3. **База данных** по теплофизическим свойствам жидкометаллических теплоносителей перспективных ядерных реакторов [Электронный ресурс]. URL: <https://gsssd-rosatom.mephi.ru/DB.php>

*М.И. Борцова, Д.А. Новофамильцев студ.;  
рук. Д.В. Фоломеева, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СОЗДАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ВИДЕОИНСТРУКЦИЙ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ**

На промышленных предприятиях, особенно в энергетике, подготовка молодых специалистов часто опирается на бумажные инструкции и устные объяснения. Это приводит к разобщённости выполнения операций, потере опыта при смене персонала, росту рисков нарушений техники безопасности и отсутствию прозрачного учёта обучения. Современные поколения сотрудников (Z и Альфа) хуже воспринимают текстовые материалы без визуального и практического подкрепления.

Решить данную проблему могут интерактивные видео инструкции, описывающие типовые операции по ремонту и обслуживанию оборудования [1]. В данной работе созданы семь демонстрационных видеороликов:

- Инструкция по определению щелочности воды;
- Инструкция по определению жесткости сырой (исходной), умягченной и питательной воды;
- Инструкция по определению водородного показателя pH;
- Водоподготовительная установка;
- Эксплуатация водоподготовительной установки;
- Подготовка котла к работе;
- Работа оператора котельной.

Съёмка проводилась на реальном объекте в строгом соответствии с утверждёнными инструкциями. Видео инструкции созданы с использованием профессиональной озвучки и компьютерной анимации, которая наглядно демонстрирует скрытые процессы, происходящие внутри оборудования.

Данные видео инструкции могут использоваться на типовых котельных и адаптироваться под другие промышленные объекты. Разработанный подход снижает нагрузку на наставников, обеспечивает единообразие действий и позволяет снизить количество ошибок при проведении типовых работ.

### **Библиографический список**

1. **Создание** интерактивных видео инструкций для безопасного проведения работ «ВидеоИнструктаж» <https://pt.2035.university/project/sozдание-interaktivnyh-video-instrukcij-dla-bezopasnogo-provedenia-rabot> [Электронный ресурс]. (дата обращения: 07.04.2026).

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

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА ГЛАВНОГО КОРПУСА ТЭС В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД**

Разработана трёхмерная математическая модель тепловоздушного режима главного корпуса Ивановской ТЭЦ-2 в ПБК ANSYS с учетом тепловыделений от оборудования, потребления воздуха на горение, теплопередачи через ограждающие конструкции и воздухообмена помещения станции с окружающей средой через технологические проемы в ограждениях (ворота, аэрационные фонари и т.д.), которая позволяет рассчитывать и прогнозировать основные параметры микроклимата (температуру, влажность, подвижность и концентрацию летучих) в производственном помещении с целью определения соответствия качества микроклимата нормативным показателям [1] и оценки потенциала энергосбережения. Численное решение получено на сетке, состоящей из 6 370 861 тетраэдрических элементов ( $OQ = 0.76$ ).

Математическая модель микроклимата была настроена (верифицирована) по результатам пассивного эксперимента [2] при температуре наружного воздуха в интервале от  $-1$  до  $-24$  °С (зимний период 2026 года). В результате сравнения расчетных и экспериментальных значений температуры, относительной влажности, концентрации углекислого газа и концентрации водорода в тридцати контрольных точках на четырёх отметках (0.00м, 8.00м, 16.00м и 25.60м) по высоте корпуса было получено удовлетворительное совпадение данных параметров, которое можно оценить погрешностью от 1% до 12%. Выполнен анализ соответствия результатов расчета на математической модели с установленными нормативными требованиями [1].

Вывод. Разработанная и верифицированная математическая модель, которая адекватно описывает формирование микроклимата главного корпуса Ивановской ТЭЦ-2 в холодный период года и позволяет выявлять зоны превышения нормативных значений температуры, влажности и концентрации летучих газов.

### **Библиографический список**

1. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. –М.:, 2021. –452 с.
2. Бухмиров В.В. Экспериментальное исследования микроклимата на ТЭЦ / В.В. Бухмиров, И.И. Светушков, Е.Н. Бушуев, Е.Н. Темлянцева, М.В. Родионова / Вестник ИГЭУ. –2023. –№6. – С.13–22

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ УДЕЛЬНОЙ ИЗОБАРНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ДЛЯ ИДЕЛЬНЫХ И РЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ**

Удельная изобарная массовая теплоемкость  $c_p$  газа широко используется при расчете термодинамических процессов, а также определении энергетической эффективности теплоэнергетических установок. Для определения ее значения используют модели идеального газа, а также справочные данные.

В модели идеального газа теплоемкость рассчитывается по простой формуле через число степеней свободы и молярную массу вещества. Однако при этом не учитывается влияния на эту величину температуры.

Для реальных газов расчет теплоёмкости возможен с помощью специальных таблиц и справочной литературы, но это достаточно трудоемко. Гораздо проще воспользоваться компьютерной библиотекой CoolProp Wrapper в среде SMath Studio [1]. Эта библиотека позволяет определить термодинамические параметры газов и их смесей в зависимости от давления и температуры.

Было выполнено сравнение значений  $c_p$  для используемых в энергетике газов: He, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и воздуха в диапазоне температур от 0 до 1000 °С в сравнении с моделью идеальных газов. Для He расхождение значений  $c_p$  с моделью идеального газа во всем рассмотренном диапазоне температур не превысило 0,7 %. Для H<sub>2</sub> до температуры 500 °С расхождение составляет не более 2 %, но с ростом температуры, расхождение начинает увеличиваться до 7,5 % при 1000 °С; для O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и воздуха до температуры 300–500 °С расхождение составляет до 10 % и увеличивается 20–25 % при 1000 °С. Наихудшие результаты получились для многоатомных газов: для CO<sub>2</sub> модель идеального газа занижает значение  $c_p$  на 25–30% до температуры 500 °С и до 70 % при 1000 °С.

Таким образом, модель идеального газа дает довольно точные результаты в широком диапазоне для одноатомных газов, допустимую погрешность для двухатомных газов при температурах до 300–500 °С, для многоатомных газов модель малоприменима при высоких температурах.

### **Библиографический список**

1. Бушуев, Е.Н. Использование компьютерной программы SMath Studio для выполнения расчётов по технической термодинамике: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, А.К. Гаськов, А.Ю. Жолобова, А.В. Пекунова // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2025. – 132 с.

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PYTHON ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ**

Техническая термодинамика является довольно сложной для изучения дисциплиной. При её освоении и практическом применении необходимо проводить разнообразные расчёты, в том числе с использованием справочных данных, а также строить графики термодинамических процессов. Такие расчёты легко автоматизировать при использовании самого популярного в настоящее время языка программирования Python. Его отличительными особенностями являются – бесплатность, простота освоения, универсальность, возможность использования множества сторонних библиотек и т.д. Недостатками использования Python при реализации расчётов является применение трудночитаемых имен переменных и строчная реализация расчётных формул.

При выполнении термодинамических расчетов часто приходится использовать параметры для реальных веществ, которые определяются по справочным таблицами. Использование бумажных справочников связано с высокими трудозатратами и часто требует применения одно- и двухпараметрического метода интерполяции. В Python имеется возможность определения термодинамических и теплофизических свойств веществ и их смесей (прежде всего, газов, воздуха, воды и водяного пара) используя функции открытой библиотеки CoolProp [1].

По результатам выполнения расчётов необходимо строить графики термодинамических процессов и циклов, Python содержит ряд библиотек (Matplotlib, Plotly и т.д.), что позволяет этот сделать.

С использованием Python был проведён многовариантный расчёт основных паротурбинных циклов ТЭС. Для использования параметров воды и пара использовалась библиотека CoolProp. Применение блочной структуры при реализации расчетов значительно упростило их реализацию.

Таким образом, язык программирования Python обладает рядом отличительных особенностей, что позволяет его использовать в учебном процессе и в практической деятельности при проведении термодинамических расчётов.

### **Библиографический список**

1. **Бушуев, Е.Н.** Использование компьютерной программы SMath Studio для выполнения расчётов по технической термодинамике: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, А.К. Гаськов, А.Ю. Жолобова, А.В. Пекунова // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2025. – 132 с.

*К.Т. Котков, студ.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ АЭС С ВВЭР-ТОИ

Термодинамический цикл АЭС с реактором ВВЭР-ТОИ основан на двухконтурной схеме и предназначен для повышения эффективности и безопасности получения энергии. ВВЭР-ТОИ (Водо-Водяной Энергетический Реактор Типовой Оптимизированный Информатизированный) – это типовой проект двухблочной, оптимизированной по технико-экономическим показателям АЭС нового поколения 3+.

В работе выполнен термодинамический расчет АЭС, основанный на цикле Ренкина с промежуточным перегревом пара и регенеративными отборами. Расчёт выполнен с использованием математической программы SMath [1]. Теплофизические параметры воды и водяного пара определялись при помощи встроенной библиотеки CoolProp. В качестве объекта исследования рассмотрена тепловая схема турбоустановки К-1200-6,8/25 – типовой для энергоблоков с ВВЭР-ТОИ.

Основные параметры цикла ВВЭР-ТОИ в сравнении с ВВЭР-1000 приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Основные параметры ВВЭР-ТОИ и ВВЭР-1000**

Наименование характеристики	Значения	
	ВВЭР-ТОИ	ВВЭР-1000
Мощность активной зоны тепловая (номинальная), МВт	3300	3000
Мощность электрическая, МВт	1255	1000
Давление теплоносителя на выходе из реактора, МПа	16,2	16,0
Температура теплоносителя на входе в реактор, °С	297,2	291,0
Температура теплоносителя на выходе из реактора, °С	328,8	321,0
Расход теплоносителя через реактор (номинальный), м <sup>3</sup> /ч	87460	84800

Выполненный термодинамический расчет АЭС с ВВЭР-ТОИ показал, что в сравнении с ВВЭР-1000 повышение параметров теплоносителя (температур до 297,2/328,8 °С, давления до 16,2 МПа) и увеличение расхода на 2660 м<sup>3</sup>/ч обеспечили рост тепловой мощности до 3300 МВт, а электрической до 1255 МВт. Электрический КПД нетто составил около 38 %, что существенно выше показателя ВВЭР-1000.

Таким образом, выполненный термодинамический анализ цикла АЭС с ВВЭР-ТОИ подтвердил его высокую энергетическую эффективность.

### Библиографический список

1. Бушуев, Е.Н. Использование компьютерной программы SMath Studio для выполнения расчётов по технической термодинамике: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, А.К. Гаськов, А.Ю. Жолобова, А.В. Пекунова // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2025. – 132 с.

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

## **ОПИСАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ТУРБОАГРЕГАТА ПТ-80**

В цифровой модели термодинамическое состояние рабочего тела описывается совокупностью взаимосвязанных параметров, включающей давление, температуру, энтальпию, расход и степень использования теплоперепада. Для цилиндра высокого давления, а также для цилиндров среднего и низкого давления моделируется процесс расширения пара с определением изменения его энергетического потенциала по мере прохождения через проточную часть. Одновременно учитывается отбор части потока на производственные и теплофикационные нужды, что позволяет анализировать влияние структуры парораспределения на электрическую мощность и тепловую нагрузку турбоагрегата.

Существенное место в модели занимает описание теплообменных процессов в регенеративной схеме. Отборный пар рассматривается как источник теплоты для подогрева конденсата и сетевой воды, вследствие чего моделируются процессы передачи теплоты, изменения энтальпии потоков и повышения общей энергетической эффективности установки. Конденсатор в рамках цифровой модели выполняет функцию замыкающего элемента тепловой схемы, где воспроизводится процесс отвода теплоты и конденсации отработавшего пара, оказывающий непосредственное влияние на вакуум, располагаемый теплоперепад и результирующие показатели работы турбины. Модель реализует термодинамический анализ на основе уравнений материального и энергетического баланса, записываемых для отдельных узлов и потоков. В динамической постановке цифровая модель дополняется временной зависимостью параметров, что даёт возможность исследовать эволюцию термодинамических процессов при изменении нагрузки, теплофикационного отбора, условий охлаждения и технического состояния оборудования. Тем самым обеспечивается анализ не только установившегося режима, но и переходных состояний, сопровождающихся перераспределением энергии и изменением внутренних связей между элементами тепловой схемы.

### **Библиографический список**

1. **IAPWS**. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (R7-97(2012)). The International Association for the Properties of Water and Steam.

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ SMATH ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ**

Расчёт любой теплоэнергетической установки основан на анализе её термодинамического цикла. Такой расчёт довольно объёмный, но при этом не требуется использовать сложный математический аппарат. Для упрощения выполнения термодинамических расчётов широко используют расчётные компьютерные программы, прежде всего Microsoft Excel, Mathcad и т.д.

Среди математических пакетов перспективным является отечественная программа компьютерной алгебры SMath Studio [1], которая является бесплатной для личного пользования. Кроме настольной версии можно использовать облачную версию этой программы, которая представляет собой бесплатный онлайн редактор. Важной особенностью программы является возможность подключения дополнений (библиотек), что значительно увеличивают её область практического применения.

Встроенная библиотека CoolProp Wrapper, содержит функционал для определения термодинамических свойств и иных параметров различных веществ (в том числе воды и водяного пара). Используя эту библиотеку, пользователю не требуется работать с бумажными справочниками и  $h,s$ -диаграммой, что в значительной мере ускоряет определение значений этих параметров. Удобным является также создание в SMath пользовательских функций, что упрощает реализацию расчетов, делает их более универсальными, позволяет решать оптимизационные задачи и т.д. Программа SMath позволяет строить графики, как отдельных термодинамических процессов, так и циклов.

С использованием компьютерной программы SMath был проведён расчёт основных паротурбинных циклов ТЭС и АЭС, а также был решен ряд оптимизационных задач – определение оптимального давления острого и вторично-перегретого пара.

Таким образом, компьютерная программа SMath характеризуется рядом преимуществ, что позволяет её использовать при проведении расчётов термодинамических циклов ТЭС и АЭС.

### **Библиографический список**

1. Бушуев, Е.Н. Использование компьютерной программы SMath Studio для выполнения расчётов по технической термодинамике: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, А.К. Гаськов, А.Ю. Жолобова, А.В. Пекунова // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2025. – 132 с.

*И.С. Башлай, студ.; рук. Е.Н. Бушуев, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ COOLPROP ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА**

Нахождение термодинамических параметров воды и водяного пара является неотъемлемой частью расчёта различных процессов, а также термодинамического цикла Ренкина. Для этой цели широко используются специальные справочники [1] и  $h,s$ -диаграмма. Однако нахождение термодинамических параметров воды и водяного пара вручную часто связано с громоздкими расчётами промежуточных значений и несет риск ошибки из-за человеческого фактора.

Современные компьютерные технологии позволяют проводить более точные расчёты, а их автоматизация заметно снижает риск человеческой ошибки. Наиболее часто для выполнения технологических расчетов используется компьютерная программа Microsoft Excel. При этом в этой программе при реализации расчетов можно использовать специальные библиотеки.

Библиотека CoolProp – это бесплатная библиотека, предоставляющая удобный доступ к функциям по определению с высокой точностью термодинамических и теплофизических параметров различных веществ и их смесей, в том числе воды и водяного пара. Она позволяет находить значения параметров, используя уравнения состояния IF95 и IF97, определять характеристики для всех состояний воды, а также по заданным двум параметрам определять состояние воды.

Функции библиотеки могут быть использованы при построении фазовых диаграмм.

Библиотека CoolProp была использована при расчёте простого цикла ПТУ, который был реализован в электронных таблицах Microsoft Excel.

Таким образом, библиотека CoolProp является эффективным инструментом для выполнения термодинамических расчётов в различных расчетных средах (Excel, SMath, C++ и т.д.).

### **Библиографический список**

1. **Таблицы** теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. Службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. – 2-е изд., стереот. – М.: Альянс, 2024. – 168 с.
2. **Бушуев, Е.Н.** Использование компьютерной программы SMath Studio для выполнения расчётов по технической термодинамике: учеб. пособие / Е.Н. Бушуев, А.К. Гаськов, А.Ю. Жолобова, А.В. Пекунова // ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2025. – 132 с.

*А.А. Соколовский, В.В. Калинин, студ.; рук. А.К. Гаськов  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ЦИКЛА МАЙСОЦЕНКО

Эффективность систем охлаждения оборотной воды (градирен) определяет экономичность многих промышленных и энергетических установок. Традиционные испарительные градирни имеют фундаментальное ограничение: температура охлажденной воды не может быть ниже температуры мокрого термометра поступающего воздуха. В жарком и влажном климате это снижает производительность оборудования.

Цикл Майсоценко (М-цикл) позволяет преодолеть этот предел. В градирне на основе М-цикла поток воздуха сначала охлаждается в сухих каналах (без изменения влагосодержания), затем часть его направляется во влажные каналы для испарительного охлаждения воды. Теоретически это позволяет охлаждать воду до температуры точки росы, которая ниже температуры мокрого термометра.

Градирня на основе М-цикла способна охлаждать воду ниже температуры мокрого термометра на входе. Экспериментально установлено, что для М-цикла отношение фактического перепада температуры воды к максимально возможному может достигать 180 %, что принципиально недостижимо для традиционных градирен [1].

Эффективность М-цикла существенно зависит от длины сухих каналов с оптимальным значением 2,4 м. Увеличение длины сверх оптимального приводит к нагреву воздуха в начале сухих каналов и снижению эффективности.

Известно, что для М-цикла на выходную температуру воды сильнее влияет влажность охлаждающего воздуха, чем его температура и, тем не менее, даже при высокой влажности (до 20 г/кг) и температуре (до 40 °С) М-цикл сохраняет свою высокую эффективность, что подтверждает возможность его применения в жарком и влажном климате [1].

Сравнение системы охлаждения воды на основе М-цикла с традиционной градирней показывает, что применение М-цикла позволяет снизить расход охлаждающей воды и уменьшить потери на испарение. При этом конструкция традиционной градирни при сопоставимых условиях охлаждения требует увеличенной площади теплообмена и имеет высокое аэродинамическое сопротивление.

### Библиографический список

1. **Xuchen F., Xiaofeng L., Jiping W.** Performance Evaluation of a Maisotsenko Cycle Cooling Tower with Uneven Length of Dry and Wet Channels in Hot and Humid Conditions: *Energies* 2021.

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ ТРУБ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЕ ELCUT**

Надёжность работы парового котла в значительной степени зависит от условий работы парогенерирующих труб – от эффективности теплопередачи от топочных газов к находящейся в них пароводяной смеси [1]. В течение эксплуатации на внутренней поверхности этих труб образуются отложения, а на наружной поверхности – окалина, всё это ухудшает теплопередачу, и приводит к увеличению температуры металла стенки труб. При значительной толщине отложений это может привести к пережогу экранных труб и аварийному останову котла.

Традиционно для расчёта теплообменных процессов используют мощные программные комплексы: ANSYS Workbench, Comsol и т.д. Однако такие лицензионные программы очень дорогие и импортные. Для расчета стационарной теплопередачи использовалась бесплатная версия отечественной компьютерной программы ELCUT (разработчик ООО «Тор»).

В программе был выполнен для условий топочной камеры расчет температурных полей процесса теплопередачи от продуктов сгорания органического топлива к кипящей котловой воде через вертикальную однослойную металлическую стенку, многослойную стенку с внутренними и наружными отложениями, а также стенку с поворотом под углом и в змеевике. Расчет проводился как равномерных, так и неравномерных, в том числе и бугорчатых отложений.

Со стороны продуктов сгорания теплоотдача осуществлялась за счет конвективного теплообмена и радиационного излучения.

Расчеты позволили определить распределение температуры и теплового потока по толщине стенки трубы, оценить эффективность теплообмена и установить зоны потенциального перегрева.

Проведенное компьютерное моделирование показало, что программа ELCUT является эффективным инструментом для теплового расчёта теплообменного оборудования и характеризуется простотой использования с наглядным представлением получаемых результатов.

### **Библиографический список**

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

*А.Л. Подшибякин, Е.М. Смирнов студ.; рук. А.Ю. Жолобова, асс. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАТОРОВ-ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ АЭС С ВВЭР-1000 И ВВЭР-1200

Сепараторы-пароперегреватели (СПП) на АЭС (рис.1) предназначены для осушки и перегрева пара, поступающего после цилиндра высокого давления турбоустановки, работающей на насыщенном паре [2].

Проведён анализ текущих параметров, таких как влажность пара, давление, температура до и после сепаратора-пароперегревателя. Расчёты для турбоустановок К-1000-60/1500 и К-1200-60/3000 проведены в полном соответствии с действующими методиками теплового расчёта, закреплёнными в технической документации.

Разработанная 3D-модель позволяет наглядно продемонстрировать движение паровлажного потока и зоны сепарации.

Существующие конструкции СПП на ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 имеют резервы повышения эффективности за счёт оптимизации геометрии жалюзийных сепараторов и схемы парораспределения в пароперегревателе [1].

По результатам работы сделаны выводы, что повышение эффективности СПП достигается за счёт модернизации сепарационного узла и равномерного подвода греющего пара [1].

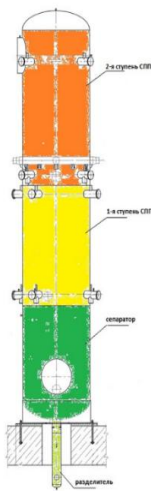


Рис. 1. Конструкция сепаратора

### Библиографический список

1. Терехов В.М., Миронова Л.И., Хижов М.Ю. Технические решения и технологические методы повышения эффективности сепараторов-пароперегревателей в составе оборудования АЭС с ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200. Глобальная ядерная безопасность. 2025;15(4):37-47.
2. Судаков А.В., Силин В.В., Марнич А.М. Сепаратор-пароперегреватель для перспективных блоков АЭС с ВВЭР // Надежность и безопасность энергетики. 2011. №1(12). С.66–70.

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

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ОТ ТЕПЛОГО ПОДОКОННИКА

Конструкция теплового подоконника со встроенной системой обогрева, предложенная в [1], позволяет предотвратить образование наледи и конденсата на окнах в холодный период года. В данной работе выполнено математическое моделирование теплоотдачи от теплового подоконника в Comsol MultiPhysics. Для расчета использовали модуль Heat Transfer in Fluid.

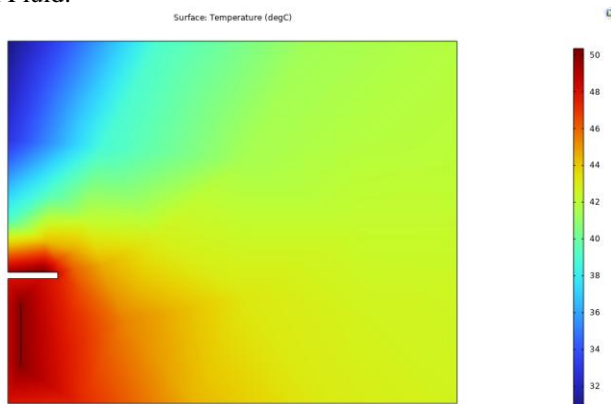


Рис. 1. Результаты расчета температурного поля

Создана двумерная модель помещения с радиатором системы отопления, установленным под подоконником. На внутренних стенах помещения приняли, что теплообмен с окружающей средой отсутствует. На поверхности радиатора задана постоянная температура, а на наружной стенке – тепловой поток, описывающий тепловые потери в окружающую среду. На поверхности подоконника приняли постоянный тепловой поток. В результате получили двумерное температурное поле, показанное на рис. 1. После введения подогрева, температура вблизи окна значительно увеличилась. Полученные в результате расчета данные свидетельствуют об эффективности предложенного устройства.

### Библиографический список

1. **Выбор** мощности нагревателя для тёплого подоконника / Т.Д. Курзина, Д.М. Крайнов, Д.В. Ракутина // Технологический суверенитет и цифровая трансформация: материалы Международной научно-технической конференции (Казань, 4 апреля 2024 г.). – Казань: Казанский государственный энергетический университет. –2024. –С.116–119.

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

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕЛЬЮ УМЕНЬШЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ**

На кафедре теоретических основ теплотехники (ТОТ) были проведены исследования тепловых потерь для трубопроводов типовых условных диаметров: 200, 300, 400, 500 и 700 мм для разных видов теплоизоляционных материалов. Ранее подобные сравнения выполнялись в основном для маленьких диаметров, а для промышленных трубопроводов отсутствовали систематизированные данные при одинаковых граничных условиях [1].

Автором был проведен численный и аналитический эксперимент для каждого диаметра трубы и каждого утеплителя при фиксированной толщине слоя (100 мм). Эксперимент проводился при температуре теплоносителя 100 °С и температуре окружающей среды –20 °С. Дополнительно были выполнены расчёты по методикам СП 61.13330.2012 для верификации результатов [2].

Рассчитаны тепловые потери во всём диапазоне для пенополистирола (ППС) ( $\lambda \approx 0,035$  Вт/(м·К)), эковаты ( $\lambda \approx 0,038$  Вт/(м·К)) и минеральной ваты ( $\lambda \approx 0,045$  Вт/(м·К)). Для трубы 200 мм потери составили: ППС – 54 Вт/м, эковата – 59 Вт/м, минвата – 69 Вт/м. При увеличении диаметра до 700 мм потери возрастают на 40–45 % для всех материалов, однако разница между потерями ППС и минваты сохраняется на уровне 15–22 Вт/м. Экономическая оценка показала, что замена минеральной ваты на ППС на 1 км трубопровода диаметра 200 мм даёт годовую экономию около 250 тыс. руб. (при 8000 ч работы и стоимости тепла 2500 руб/Гкал), а для диаметра 700 мм – до 400 тыс. руб. Однако пенополистирол ограничен температурой использования (не выше 80 °С), поэтому при более высоких температурах предпочтительна минеральная вата с увеличением толщины изоляции для уменьшения потерь.

### **Библиографический список**

1. **Бухмиров, В.В.** Тепломассообмен: учебник: в двух томах. Т. 1. – ИГЭУ, 2025. – 363 с.
2. **СП 61.13330.2012** «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов».

*А.М. Блинов, Д.А. Тарасова студ.; рук. Д.В. Фоломеева, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ТРЕНИНГОВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

В данной работе создана тренинговая платформа для обучения молодых специалистов на рабочем месте. Платформа объединяет видеoinструкции, текстовые регламенты и тесты в единую систему с управлением доступа и контролем результатов.

Вход на платформу выполняется по индивидуальному логину и паролю. В системе предусмотрены три типа пользователей: администратор, руководитель и сотрудник.

Руководителю доступно управление доступом и просмотр результатов подчинённых. Он видит какие обучающие модули пройдены каждым сотрудником, сколько ошибок допущено и по каким темам. Это позволяет быстро понять, кто готов к самостоятельной работе, а кому требуется дополнительное обучение.

Со стороны сотрудника интерфейс максимально простой. После входа он видит список доступных курсов. В начале даются текстовые инструкции, затем обучающее видео. Видео можно поставить на паузу, вернуться к отдельным фрагментам, а при необходимости – посмотреть ещё раз. После изучения модуля сотрудник сразу переходит к тесту. Тесты построены строго по утверждённому списку вопросов. Есть вопросы с одиночным выбором, с множественным выбором и на установление правильной последовательности действий. Сверху реализована наглядная шкала прогресса: точки показывают, сколько вопросов уже пройдено, какой вопрос текущий и сколько осталось до конца. Это снижает стресс и делает прохождение теста более прозрачным. После отправки ответов система автоматически проверяет результат и сохраняет его в базе. Руководитель потом видит итоги по каждому модулю и сотруднику.

Платформа реализована на современном технологическом стеке: Next.js, React и TypeScript на фронтенде, Prisma и реляционная база данных на бэкенде.

Такая архитектура позволяет масштабировать систему от пилотного использования на одном объекте до корпоративного внедрения с общей базой пользователей и интеграцией с внутренними сервисами. Отдельно предусмотрен сценарий мобильного использования – платформа упакована в Android-приложение. Это позволяет использовать одну и то же решение как на рабочих компьютерах, так и на планшетах или корпоративных смартфонах.

*И.М. Курсков, П.О. Салеев, студ.; рук. Д.В. Фоломеева, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЫБОР ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ВЕНДИНГОВОГО АППАРАТА**

В рамках акселерационной программы ИГЭУ была предложена конструкция автономного вендингового аппарата по продаже фасованного мороженого и холодных напитков, работающего на солнечных батареях [1]. Аппараты можно устанавливать в местах массового отдыха без подключения к электросети. Этот подход обеспечивает независимость от инфраструктуры и способствует снижению эксплуатационных издержек. Конструкция разработана специально для летнего периода.

Цель данной работы – выбрать оптимальный вид тепловой изоляции для энергосберегающего вендингового аппарата.

Выполнен сравнительный расчет тепловых потерь для тепловой изоляции, выполненной в виде параллелепипеда и в виде цилиндра. Для тепловой изоляции в виде цилиндра тепловые потери на 7 % меньше, при этом стоимость материалов для изготовления цилиндрического аппарата того же объема меньше на 28 %. Таким образом, можно сделать вывод, что предпочтительнее использовать тепловую изоляцию в виде цилиндра.

Проведено сравнение изменения тепловых потерь для различной конструкции тепловой изоляции. Рассмотрены следующие варианты:

- 1 – пеноплекс 50 мм, воздушная прослойка 10 мм, пеноплекс 50 мм;
- 2 – пеноплекс 50 мм, аргон 10 мм, пеноплекс 50 мм;
- 3 – пеноплекс 50 мм;
- 4 – пеноплекс 100 мм.

Результаты расчетов показали, что наименьшие теплотери даёт конструкция «пеноплекс 50 мм – аргон 10 мм – пеноплекс 50 мм». Она эффективнее однослойного пеноплекса 50 мм примерно на 35–40 % и на 10–15 % лучше варианта с воздушной прослойкой. Однослойный пеноплекс 100 мм снижает теплотери на 20–25 % по сравнению с 50 мм, но всё равно уступает варианту с аргоном.

Также выполнен технико-экономический расчет по подбору солнечной панели, аккумулятора и автоматики для вендингового аппарата.

### **Библиографический список**

1. Sunlce <https://pt.2035.university/project/sunlce> [Электронный ресурс]. (дата обращения: 08.04.2026).

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ ПЛЕНОЧНОМ РЕЖИМЕ КИПЕНИЯ ВОДЫ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА**

Расчет теплообмена при пленочном режиме кипения воды в большом объеме – задача актуальная для процессов закалки металлов, систем пожаротушения, а также систем аварийного охлаждения активной зоны ядерных реакторов.

Определение коэффициента теплоотдачи при пленочном режиме кипения воды методом регулярного режима выполнено на лабораторной установке кафедры «Теоретические основы теплотехники» ИГЭУ. Установка включает в себя: электрическую муфельную печь, установленную над емкостью с водой, медный цилиндр, заключенный в стакан из нержавеющей стали. Нагретый в муфельной печи цилиндр помещается в емкость с водой, предварительно подогретой до температуры насыщения. На поверхности цилиндра наблюдается пленочный, переходный, а затем и пузырьковый режим кипения. В ходе эксперимента фиксируется температура в центре образца и у его поверхности, а также температура воды.

При обработке экспериментальных данных определено среднее значение коэффициента теплоотдачи при пленочном режиме кипения воды по формуле:

$$\bar{\alpha} = \frac{m \cdot M \cdot c_p - \alpha_{\text{ТО}} F_{\text{ТО}}}{F}; \quad m = \frac{\ln \theta_1 - \ln \theta_2}{\tau_2 - \tau_1},$$

где  $m$  – темп охлаждения тела,  $\text{с}^{-1}$ ;  $M$  – масса образца, кг;  $c_p$  – удельная теплоемкость образца, Дж/(кг·К);  $\alpha_{\text{ТО}}$  – коэффициент теплоотдачи надводной части образца, Вт/( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ );  $F_{\text{ТО}}$  – площадь поверхности теплообмена надводной части образца,  $\text{м}^2$ ;  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – избыточные температуры образца в моменты времени  $\tau_1$  и  $\tau_2$ .

Экспериментальное значение коэффициента теплоотдачи сопоставлено с результатами расчета по известным методикам [1]. Анализ относительной погрешности эксперимента позволил выбрать наиболее оптимальные условия его проведения. Результаты научной работы были использованы при разработке учебно-методических пособий для студентов, изучающих дисциплину «Тепломассообмен».

### **Библиографический список**

1. Бухмиров В.В. Тепломассообмен. Т. 2. Иваново, 2025. 720 с.

**СЕКЦИЯ 5**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

Председатель

к.т.н., доцент **Банников А.В.**

Секретарь

к.т.н., доцент **Козлова М.В.**

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

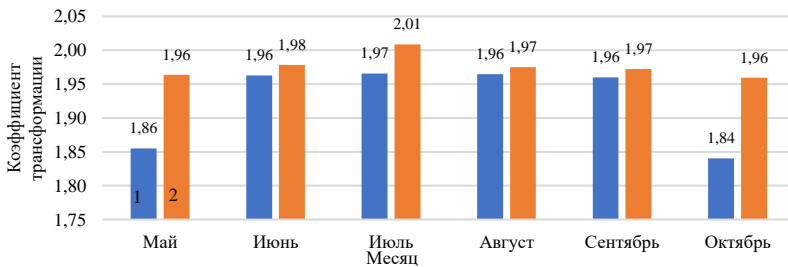
## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ АБСОРБЦИОННОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТЕПЛОТЫ В ТЕПЛОВУЮ СХЕМУ ТЭЦ

Использование абсорбционных трансформаторов теплоты (АТТ) на ТЭЦ является перспективным, так как в данном случае возможно полезное использование низкопотенциальных источников теплоты, например, охлаждающей воды конденсатора турбины.

Особый интерес представляет вариант с использованием прямоточной системы охлаждения, поскольку в данном случае достигается 2 эффекта: снижается как температура воды, поступающей в конденсатор, так и температура воды, возвращаемой в водоем, что позволяет снизить затраты на водопользование. Наибольшая эффективность АТТ достигается при меньшей высоте теплоподъема, поэтому в качестве потребителя теплоты в данном случае целесообразно рассматривать сырую воду, подогреваемую до 30-32 °С.

В зимний режим, когда температура охлаждающей воды стремится к 0 °С, снижение ее температуры перед конденсатором невозможно, поэтому следует учитывать возможность поступления охлаждающей воды после конденсатора. В летний период возможны два варианта – охлаждение воды перед конденсатором и после него. Во втором случае эффективность АТТ повышается за счет снижения расхода греющего пара в генераторе, снижения высоты теплоподъема.

Автором выполнено расчетное исследование, в ходе которого получены зависимости коэффициентов трансформации АТТ для различных режимов работы тепловой схемы турбины (рис. 1). В соответствии с рис. 1 наиболее эффективным является режим с охлаждением воды после конденсатора.



**Рисунок 1** – Значение коэффициента трансформации АБТТ для различных режимов работы: 1 – снижение температуры охлаждающей воды перед конденсатором; 2 – снижение температуры охлаждающей воды после конденсатора

*С.М. Бахтияров, студ.; рук. С.Б. Нуриддинов, д.т.н., доц.  
(АГТИ, г. Алмалик)*

## **ТРЕБОВАНИЯ К ТЕПЛОВОЙ СИСТЕМЕ В НОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТАХ**

В современных условиях развития строительной отрасли повышение энергоэффективности зданий и рациональное использование тепловых ресурсов являются одними из приоритетных задач. Современные строительные стандарты направлены на внедрение энергосберегающих технологий, снижение теплопотерь и обеспечение экологической безопасности зданий и сооружений.

Новые строительные нормы (СНиП 2.04.05-22, СНиП 2.01.04-18) регламентируют нормирование расхода энергии в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. В соответствии с данными нормативами устанавливаются предельные значения удельного расхода тепловой энергии на единицу общей площади здания.

Системы отопления должны обеспечивать нормативные параметры микроклимата помещений, одновременно обеспечивая экономию энергетических ресурсов и высокую экономическую эффективность эксплуатации. Согласно современным требованиям, системы отопления должны соответствовать следующим критериям: энергоэффективность; экологическая безопасность; высокий уровень автоматизации; минимизация тепловых потерь; экономическая целесообразность применения. Требования к системам отопления были изучены на основе следующих нормативных документов: СНиП 2.04.05-22 – отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха; СНиП 2.01.04-18 – строительная теплотехника; СНиП 1.03.03-23 – проектирование строительных объектов; СНиП 2.01.01 – климатические параметры строительства.

Современные строительные стандарты, предъявляемые к системам отопления, ориентированы на повышение энергоэффективности, экологической безопасности и экономической эффективности эксплуатации зданий. Проектирование систем отопления в соответствии с требованиями ШНК позволяет оптимизировать тепловой баланс здания, снизить потребление энергетических ресурсов и обеспечить комфортные параметры микроклимата в помещениях.

### **Библиографический список**

1. Мирзаев А.Дж., Исламов У.С. Теплотехнические свойства современных строительных материалов // Энергосберегающие технологии. – 2022. – № 1. – С. 12–18.
2. Ахмедов Б.Х. Повышение энергоэффективности систем теплоснабжения. – Ташкент: Наука и техника, 2020. – 150 с.
3. Строительные стандарты Республики Узбекистан: СНиП 2.01.04-97. Теплозащита зданий. – Ташкент, 1997.

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

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СПОСОБА УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА В ЦЕНТРАЛЬНОМ КОНДИЦИОНЕРЕ**

В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» необходимо эффективно и рационально использовать энергетические ресурсы. Целесообразным является снижение энергопотребления в системах поддержания микроклимата, в частности системах кондиционирования, включающих в себя такие элементы как подогреватели первой и второй степени, секцию орошения.

Особый интерес представляет формирование микроклимата в помещении блочного щита управления (БЩУ) АЭС, поскольку монотонная работа операторов требует сосредоточенности и связана с нервно-эмоциональным напряжением, что предполагает поддержание на заданном уровне не только температуры, но и влажности [1].

Центральный кондиционер, расположенный в лаборатории прецизионных систем формирования микроклимата в помещении полномасштабного тренажера БЩУ АЭС Ивановского государственного энергетического университета, должен обеспечивать оптимальные параметры микроклимата в аудитории А-169, в том числе, поддержание заданной влажности. Однако на сегодняшний день не решены вопросы, связанные с обоснованием способа увлажнения приточного воздуха в ЦК. В связи с этим актуальным является вопрос исследования различных типов секций орошения.

Наиболее распространенными способами насыщения воздуха водяными парами являются ультразвуковой, изотермический и адиабатный. Однако при ультразвуковом методе требуется тщательная предварительная подготовка воды, кроме этого, при большом расходе приточного воздуха существенно возрастают габариты секции орошения. Поэтому наиболее применимыми являются адиабатный и изотермический способы.

При адиабатном увлажнении при прямооточной схеме характерны наиболее высокие затраты на первый подогрев, кроме этого, в данном случае потребляется существенное количество энергии на обеспечение циркуляции распыляемой форсунками воды, в то время как при изотермическом увлажнении в поток воздуха поступает сгенерированный водяной пар, при этом удается снизить затраты тепловой энергии на первый подогрев.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М, 2005, 49 с. (Система стандартов безопасности труда).

С.С. Березина, студ.; рук. С.А. Банникова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Основанием выбора системы отопления здания и её отопительных приборов служит назначение здания, его архитектурные решения, температурный режим, род деятельности людей и санитарно-гигиенические требования к поверхностям отопительных приборов и пр.

Среди наиболее распространённых систем отопления можно выделить низкотемпературное радиаторное и панельно-лучистое отопление, отличающиеся конструкцией, принципом работы и областью применения. В связи с широкой распространённостью в жилых и административных зданиях, а также преобладанием в них технических решений отопительных систем советских инженеров, в работе рассмотрена радиаторная система отопления. Несмотря на очевидные достоинства радиаторного отопления, к которым относятся низкая инерционность (для большинства типов радиаторов), высокая надёжность, долговечность, простота и удобство обслуживания, эти системы имеют недостатки. Использование точечных источников энергии приводит к снижению уровня комфортности. Также использование радиаторов ухудшает внешний вид помещений и может сопровождаться локальным скоплением пыли, что, в свою очередь, может снижать его эффективность и ухудшать качество воздуха [1]. Одним из недостатков радиаторного отопления является также неизбежный прогрев ограждающих конструкций в зоне расположения радиаторов, что подтверждается проведённой тепловизионной съёмкой административного здания, расположенного в г. Иваново (рисунок 1).

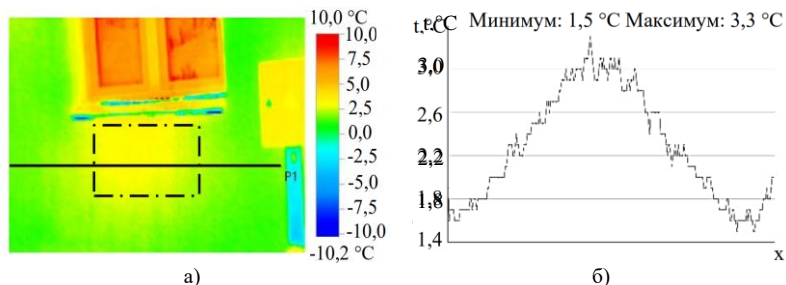


Рисунок 1 – Пример результата тепловизионной съёмки: а) термограмма; б) температурный профиль (P1)

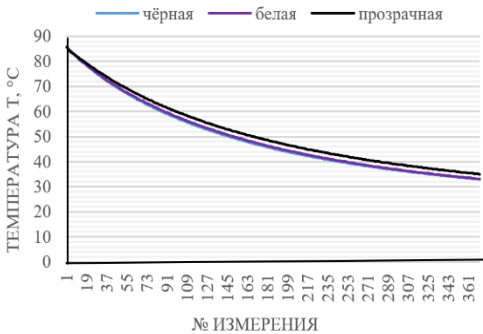
### Библиографический список

1. Сканави А.Н. Отопление: Учебник для техникумов. М.: Стройиздат, 1979. – 255 с.

М. Г. Билиджан, студ.; рук. Д.Л. Безбородов, ст. преп.  
(ДонНТУ, г. Донецк)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКРЫТИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ПЛОТНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

Теплопередача от стенок отопительного прибора осуществляется теплопроводностью, конвекцией и излучением. Одним из второстепенных факторов считается цвет покрытия стенок прибора.



**Рисунок 1** – График остывания воды в алюминиевых трубках (интервал измерений – 10 с), температурный диапазон от 35 °C до 85,7 °C

Из рис. 1 видно, что наименее интенсивна теплоотдача от прозрачной трубки. В результате было установлено (табл. 1), что  $q$  трубки, окрашенной чёрной акриловой краской, в среднем превысил  $q$  от прозрачной трубки на 3,53 %; в сравнении с белой – на 0,85 %;  $q$  от белой превысил  $q$  от прозрачной на 2,7%.

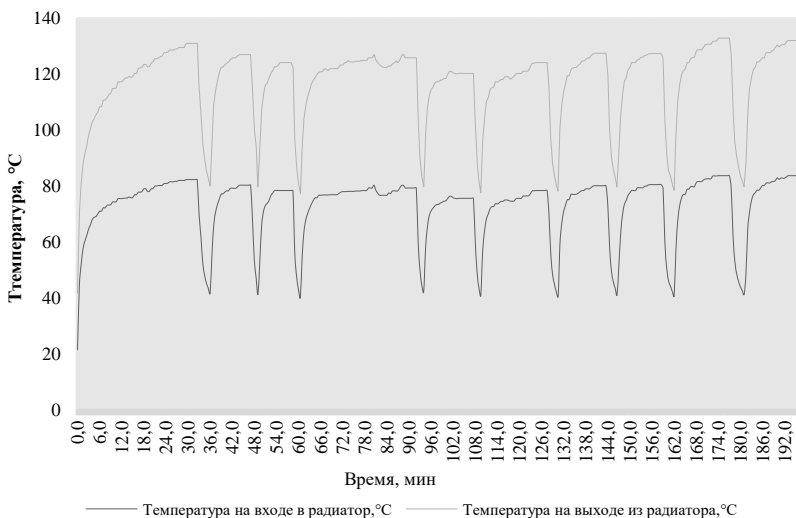
**Таблица 1.** Удельный тепловой поток  $q$ , Вт/м<sup>2</sup> в зависимости от цвета покрытия трубки

№ опыта	Удельный тепловой поток $q$ , Вт/м <sup>2</sup>		
	чёрная	белая	прозрачная
1	302,4219	300,1226	293,0379
2	312,8002	310,0474	303,4717
3	336,5423	334,3103	322,4165
4	327,0425	324,8596	314,4686
5	304,7388	299,651	293,6559
6	314,0245	312,388	303,4841
$q_{\text{ср}}$	316,2617	313,5631	305,0891

*А.В. Боровская, студ.; рук. Д.Л. Безбородов, ст. преп.  
(ДонНТУ, г. Донецк)*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Централизованное теплоснабжение - ключевой элемент инфраструктуры городов, обеспечивающий отопление и горячее водоснабжение. Эффективность системы напрямую зависит от выбора теплоносителя.



**Рисунок 1** - График изменения температур при использовании воздуха в качестве теплоносителя.

Из рис. 1 видно, что циклы колебаний повторяются с высокой периодичностью, показывая, что система быстро выходит на стабильный режим работы. Температура на входе в радиатор существенно выше, чем на выходе, что демонстрирует процесс теплопередачи. Система легко переводится из режима интенсивного нагрева в режим поддержания температуры. Время от подачи горячего воздуха до охлаждения на выходе минимально - это преимущество для зонального управления климатом.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод о том, что воздушное отопление является оптимальным решением для объектов, где важны скорость прогрева и гибкость регулирования микроклимата.

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

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОТОПЛЕНИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ФЕЛЬДШЕРСКО-АКУШЕРСКОГО ПУНКТА**

В данной работе рассмотрено несколько способов организации отопления и энергосберегающих мероприятий для действующего фельдшерско-акушерского акушерского пункта (здесь и далее – ФАП).

Были изучены два варианта системы отопления – электрические контекторы и двухтрубная система отопления с газовым котлом в качестве источника и водой в роли теплоносителя.

Были определены параметры внутреннего и наружного воздуха, определены основные вредности, а также составлен тепловой баланс по каждому помещению, входящему в ФАП. Определен воздухообмен для каждой комнаты. Было выполнено имитационное моделирование процесса теплопередачи через наружную стену. На основании принятых инженерных решений была разработана система отопления и вентиляции. В качестве отопительных приборов для водяной системы вентиляции были приняты секционные радиаторы.

В связи с меньшей стоимостью природного газа как топлива в сравнении с электроэнергией сделан вывод, что эксплуатационные затраты при использовании системы водяного отопления с газовым котлом будут меньше.

Кроме того, было проработано одно из энергосберегающих мероприятий – использование энергоэффективных ставней для окон. Особенностью конструкции этих экранов являются заполнение малотеплопроводным инертным газом аргоном пространства между сэндвич-панелей. Необходимо также отметить, что поверхности сэндвич-панелей металлизуются для снижения теплопередачи за счёт излучения. Данное решение позволило значительно сократить тепловые потери через светопрозрачные ограждающие конструкции здания. С наружной стороны ставней предлагается использовать фотоэлектрические солнечные панели, которые позволяют также генерировать электрическую энергию. Была разработана система преобразования, хранения и потребления электрической энергии, сгенерированной в солнечных панелях.

Применение разработанных мероприятий приведет к снижению затрат на топливо для системы отопления.

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

## **АНАЛИЗ СХЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ЦИКЛА РЕНКИНА**

Утилизация сбросного тепла газопоршневых установок является перспективным направлением повышения энергоэффективности. Органический цикл Ренкина позволяет эффективно преобразовывать тепловую энергию в электрическую [1].

Среди известных вариантов утилизации тепла выхлопных газов рассмотрены две схемы: с прямым нагревом рабочего тела и с промежуточным термомасляным контуром. Непрямой нагрев снижает риск перегрева и разложения рабочего тела, а также уменьшает эксплуатационные затраты [2]. Для дальнейшего исследования принята схема с промежуточным термомасляным контуром.

В качестве объекта исследования выбрано текстильное предприятие ООО «Крайтекс-Ресурс» (г. Кохма, Ивановская обл.). Энергоснабжение осуществляется от энергокомплекса, в состав которого входит когенерационная установка на основе газопоршневого двигателя Jenbacher JMS 320 GS-N.L.

Для ОЦР рассмотрены следующие рабочие тела: R245fa, R134a, R600a (изобутан) и пентан. Среди них R245fa обладает наиболее рациональным сочетанием свойств: негорюч, нетоксичен, термически стабилен и имеет нулевой озоноразрушающий потенциал. R134a также негорюч и нетоксичен, но имеет более низкую критическую температуру. R600a и пентан обладают более высоким эксергетическим КПД, однако являются горючими веществами, что требует дополнительных мер безопасности [2].

В настоящее время ведется разработка расчетного модуля для моделирования тепловых схем органического цикла Ренкина с использованием интегрируемого в MS Excel модуля «CoolProp».

### **Библиографический список**

1. **Овсянник А.В., Ключинский В.П.** Выбор, расчет и термодинамический анализ турбоустановок на органическом цикле Ренкина // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2022. – Т. 65. – № 1. – С. 76–88;
2. **Бродов Ю.М., Комаров О.В., Седунин В.А., Блинов В.Л., Елагин И.С.** Анализ современных технических решений при разработке ORC-установок с органическими рабочими жидкостями // Проблемы энергетики. – 2016. – № 7–8. – С. 24–33.

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

## **ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ С РАЗРАБОТКОЙ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

В условиях роста требований к энергосбережению актуальной задачей является выявление скрытых дефектов теплоизоляции зданий. Традиционные контактные методы не дают полной картины распределения температурных полей, поэтому в работе применён метод инфракрасной термографии. Объектами исследования выбраны: общественное здание, включая ограждающие конструкции, участок паропровода строительного комбината и помещение «тёплого» чердака жилого здания. Обследование выполнено с использованием тепловизора и специализированного программного обеспечения [1].

В ходе работы проведён анализ температурных полей наружных стен, выявлены «мостики холода» в зонах оконных и дверных проёмов, определено фактическое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций здания. Установлено, что приведённое сопротивление теплопередаче наружных стен всех фасадов общественного здания ниже нормируемых значений (например, для главного фасада  $R_k = 1,79 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  при требуемом  $3,17 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ ). На основе полученных экспериментальных данных разработаны мероприятия по дополнительному утеплению наружных стен теплоизоляционным материалом. Расчёты показали, что после реализации предложенных мер, сопротивление теплопередаче стен возрастёт до значений  $3,24 \div 4,29 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , что превышает нормативное требование. Это обеспечит снижение теплопотерь и соответствие исследуемого здания современным нормам тепловой защиты.

При обследовании «тёплого» чердака жилого здания выявлено, что из-за недостаточного поступления тёплого воздуха от системы вентиляции (здание 5-этажное, а чердак запроектирован как для типового 9-этажного) существует риск инфильтрации холодного воздуха со снижением температурно-влажностного режима в верхних этажах здания.

### **Библиографический список**

1. **ВСН 43-96** Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждений конструкций зданий с применением малогабаритных тепловизоров.

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

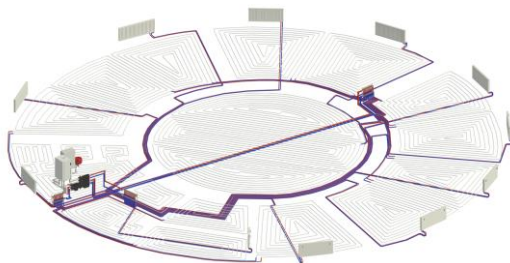
Проектирование различных систем, в том числе и отопления, во многом зависит не только от квалификации и знаний проектировщика, но и от использования современного программного обеспечения. Активное развитие информационного моделирования начинается с 1990г., а для объектов, финансируемых из государственного бюджета использование информационной модели стало обязательным с 2022 года [1].

BIM (Building Information Modeling) — это технология информационного моделирования зданий, которая позволяет создавать цифровую 3D-модель объекта с полной базой данных о его характеристиках.

Одной из программ, служащей для выполнения такого рода задач является Revit Autodesk.

В качестве объекта для проектирования, с использованием информационного моделирования, была принята частная школа-интернат, расположенная в деревне Ильцино, Ярославской области. На основании теплового баланса, была выбрана водяная система отопления с индивидуальным газовым котлом, системой тёплых полов и коллекторно-лучевой разводкой.

Благодаря технологиям информационного моделирования, мы получаем комплексное решение по созданию системы отопления для школы-интерната, и наглядное представление о проектируемом объекте за счёт трехмерной модели.



**Рисунок 1** – Общий вид системы отопления частной школы-интерната.

### Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 г. № 331
2. Талапов В.В. «Технология BIM. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий».

*А.И. Киселева, старший преподаватель  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРОВОДОВ В НЕРАСЧЕТНЫХ РЕЖИМАХ

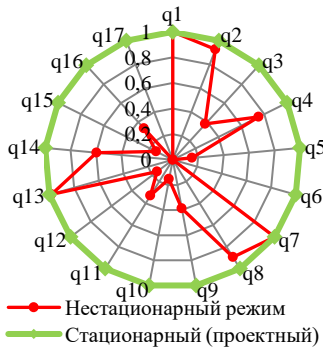
Несмотря на многолетние исследования в области развития систем централизованного теплоснабжения проблема повышения эффективности и поддержания работоспособного состояния систем, эксплуатирующихся в нерасчетных режимах, затронута не была в связи с отсутствием такой задачи при зарождении и проектировании первых систем технологического пароснабжения.

Комплексный метод оценки состоит в том, что первоначально находят значения уровней всех учитываемых отдельных показателей свойств, а потом рассчитывают средневзвешенный арифметический комплексный показатель качества продукции  $Q_a$  по развернутой формуле:

$$Q_a = \sum_{i=1}^n a_i \cdot q_i = a_1 q_1 + a_2 q_2 + \dots + a_n q_n,$$

где  $a_i$  – долевой коэффициент весомости  $i$ -го показателя соответствующего свойства,

$q_i$  – уровень  $i$ -го свойства, т.е. относительный показатель  $i$ -го свойства оцениваемого и базового объектов.



**Рисунок 1** - Циклограмма качества для паропровода (№1),  $q_1 \dots q_{17}$  – относительные показатели качества.

Полученное значение комплексного показателя качества (0,355) свидетельствует о низкой эффективности эксплуатации паровых сетей, обусловленной отклонениями от расчётных режимов – можно сказать, что состояние паропровода неудовлетворительное, требует вмешательства и тщательной диагностики.

*В.А. Куликова, студ.; Д.А. Смирнов, студ.;  
рук. Н.Н. Смирнов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В МЕЖОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД**

В тёплый период года в тепловых сетях, питающих жилой сектор, в основном обеспечивается нагрузка на горячее водоснабжение. Некоторые потребители могут отказаться от данной нагрузки и перекрыть запорную арматуру (задвижки) на вводе в дом. В связи с этим возникают следующие ситуации: часть потребителей получает теплоноситель из тепловых сетей, а на некоторых участках его движение прекращается. Организации, обеспечивающие транспорт тепловой энергии по сетям, обязаны оплачивать нормативные тепловые потери в тепловых сетях, а также потери теплоносителя.

Актуальной задачей является моделирование работы тепловых сетей с учётом того, что в магистральных трубопроводах происходит циркуляция теплоносителя, а на участках, где потребитель закрыл задвижку, циркуляция отсутствует. Для решения данной задачи была разработана имитационная модель нескольких участков тепловых сетей. Данная модель включает участок магистральных тепловых сетей с циркулирующим теплоносителем с температурой 70 °С, а также ответвления, где потребление теплоносителя отсутствует. При моделировании были использованы фундаментальные законы теплообмена [1] и гидродинамики, а также метод конечных элементов [2]. При моделировании использовались различные способы прокладки тепловых сетей, а также материал тепловой изоляции.

Были определены тепловые потери в тепловых сетях, а также построены параметрические поля температуры и скорости движения теплоносителя. Было установлено значительное снижение температуры на участках тепловых сетей, где отсутствовала циркуляция теплоносителя в межотопительный период.

### **Библиографический список**

1. Бухмиров, В.В. Тепломассообмен: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. Яблоков, А.А. Моделирование прикладных задач тепло- и воздухообмена в программе Comsol Multiphysics / А.А. Яблоков, Н.Н. Смирнов, В.Д. Лебедев, А.С. Сафронов. – Иваново: УИУНЛ ИГЭУ. – 2017. – 200 с.

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

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА С АКТИВНОЙ НАСАДКОЙ (КТАНа) В MS EXCEL**

Энергосбережение, рациональное использование ресурсов и повышение энергоэффективности установок являются приоритетными направлениями развития современной энергетики. Одним из перспективных в этой области является способ утилизации теплоты дымовых газов.

В данной работе для автоматизации расчета контактного теплообменника с активной насадкой разработан алгоритм, который был реализован в программном продукте MS EXCEL.

Вводными данными для расчета являются: температуры дымовых газов и воды на входе и выходе из КТАНа, расход топлива, поступающего в котел, параметры и состав сжигаемого топлива. Для удобства пользователя в программе представлены справочные данные для некоторых видов топлив.

Расчет контактного теплообменника с активной насадкой включает в себя: расчет параметров дымовых газов на входе в КТАН, теплобалансовый расчет, расчет требуемой поверхности теплообмена и конструктивных характеристик активной насадки, аэродинамический расчет.

После ввода исходных данных пользователь получит подробный и последовательный расчет, в результате которого будет произведен автоматический обоснованный выбор марки КТАНа, представлены конструктивные характеристики аппарата и активной насадки.

Программа может быть использована в целях обучения, проведения исследований и проектирования КТАНов.

### **Библиографический список**

1. Теплотехнологические комплексы и безотходные системы: учеб.-метод. пособ. к курс. пр. / Д.И. Пашенко. – Самара; Самар. гос. техн. ун-т, 2012. - 64 с.: ил.
2. **А.В. Коновалов** Использование теплоты дымовых газов в контактных теплоутилизаторах: Учебное пособие/Ивановский государственный энергетический университет.; А.В. Коновалов. – Иваново, 2021. – 104с.
3. Рекомендации по проектированию котельных и промышленных ТЭЦ с применением КТАНов-утилизаторов. – ЦИТП Госстроя СССР. – 1988. – 180 с.

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ**

Для стабильной работы серверного оборудования центров обработки данных (ЦОД), предотвращения его перегрева необходимо поддержание постоянной температуры воздуха (20-25 °С) и влажности (40-50%).

Для снижения суммарных тепловыделений ЦОД могут размещать в бывших шахтах и бункерах. Несмотря на это обстоятельство для данных объектов характерны значительные избытки теплоты. Для борьбы с данным типом вредностей используются системы вентиляции, источником холода для которых служат чиллеры, однако эти устройства потребляют значительное количество электроэнергии. В связи с этим актуальным становится исследование альтернативных энергосберегающих вариантов снижения температуры воздуха.

Перспективным является использование естественного холода (фрикулинга) в отопительный период, установка абсорбционных холодильных машин (АБХМ), использование комбинированных методов охлаждения, адиабатическое увлажнение, а также использование устройств, основанных на цикле Майсоценко.

В случае размещения ЦОД под землей их система энергоснабжения является автономной, в качестве источника электрической энергии в данных обстоятельствах могут использоваться дизельные генераторы. При их работе образуются продукты сгорания с высокой температурой, которые могут использоваться как греющая среда в генераторе АБХМ, соответственно, основным потребителем электроэнергии для такого варианта системы охлаждения будет насос, обеспечивающий циркуляцию смеси рабочих веществ. При этом мощность, потребляемая насосом будет существенно ниже, мощности, потребляемой компрессором пароконденсационного чиллера при прочих равных условиях. Для повышения эффективности системы с АБХМ возможно использование естественного холода в отопительный период года.

За счет применения предложенного технического решения снижаются затраты энергии, потребляемой ЦОД, а как следствие и потребление органического топлива, а также выбросы продуктов сгорания в окружающую среду.

*П.А. Перехвал асп.; рук. В.Н. Романюк, д.т.н., проф.  
(БНТУ, г. Минск)*

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКОРПУСНЫХ ВЫПАРНЫХ УСТАНОВОК ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ МОЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Сгущение молока — самый энергоёмкий этап в производстве сухих молочных продуктов, на который приходится около 54% всех затрат тепловой энергии [1]. Большинство отечественных предприятий используют установки типа «Виганд» (ГДР), возраст которых достигает 40–50 лет. Они морально устарели и не отвечают современным требованиям энергоэффективности.

Проведен сравнительный технико-экономический анализ работы выпарных установок с разным количеством корпусов. Расчетным путём для отечественных условий определена зависимость срока окупаемости от количества корпусов.

**Таблица 1 – Результаты расчетов**

количество корпусов	2	3	4	5
удельный расход пара, кг/кг	0,38	0,30	0,25	0,21
срок окупаемости	базовый	7,8	6,2	6,0

Внедрение пятикорпусной установки взамен двухкорпусной позволяет снизить удельный расход пара на 44% (с 3,0 до 1,7 т/ч), что высвобождает до 1,3 т/ч тепловой мощности котельной без её реконструкции, а наличие встроенных СІР-станций сокращает время мойки и увеличивает годовой фонд рабочего времени оборудования.

Выявлено, что при текущих ценах на тепловую энергию сроки окупаемости 4-х и 5-ти корпусных установок практически идентичны (около 6 лет), что ставит под вопрос целесообразность чрезмерного усложнения конструкции.

### **Библиографический список**

1. **Перехвал П.А.** Анализ потребления энергии и потенциал энергосбережения предприятий молочной отрасли Республики Беларусь / П.А. Перехвал, В.Н. Романюк // 79 Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием, Ярославль, апрель 2026 / Ярославльский Государственный Технический Университет; редкол. Е.О. Степанова [и др.]. – Ярославль, 2026, с. 517-520.

М.Б. Перехвал асп.; рук. И.Л. Иокова, к.т.н., доц.  
(БНТУ, г. Минск)

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЫНКА ХЛАДАГЕНТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПОИСК ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО БАЛАНСА

Настоящие состояние холодильной отрасли и сферы кондиционирования в Республике Беларусь находится на пороге глобальных изменений в связи с критической мировой экологической обстановкой. Этот процесс обусловлен выполнением рядом международных обязательств по Венской конвенции об охране озонового слоя, подписанной в 1986 году и Монреальскому протоколу, согласованном в 1988 году [1].

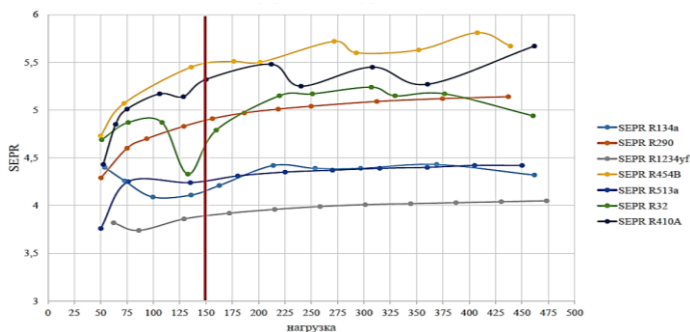


Рисунок 1 – График сезонной эффективности фреонов

Как видно на графике порог эффективности, равный 5, переходят R290 и R454B, R32 и R410a, чей ПГП равен 3 и 465, 704 и 2100 (что не является перспективным видом хладагента) соответственно. Следовательно, R290, R454B и R32 имеют высокую эффективность при различной нагрузке и низкий ПГП, ПГП R134a и R513a находится в разрешенных пределах, что делает эти хладагенты «золотой серединой» по эффективности и безопасности использования.

### Библиографический список

1. Перехвал М.Б. энергетическая эффективность холодильных систем, работающих на хладагентах r32 и r410a / М.Б. Перехвал, И.Л. Иокова // Science and technology research - 2026 : сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск : МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2026. — 191 с.

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОЗАВОДСКОЙ ТЭЦ**

В настоящее время политика государства направлена на модернизацию старого оборудования с применением комбинированных термодинамических циклов, обеспечивающих надежное электро- и теплоснабжение населения и промышленных предприятий. Одним из наиболее актуальных направлений развития отечественной и зарубежной теплоэнергетики является внедрение парогазовых установок (ПГУ).

В работе рассмотрена модернизация Автозаводской ТЭЦ с расширением комбинированной парогазовой установки ПГУ-440, в состав которой входят две газотурбинные установки ГТЭ-160, два котла-утилизатор Е-220/50-8,33/0,6-517/211, паротурбинная установка Р-100-130/15.

Для решения данной задачи произведен анализ различных схем парогазовых установок с котлами-утилизаторами и изучены различные методики расчета тепловых схем ПГУ. Разработаны математические модели газового контура ПГУ, двухконтурного котла-утилизатора и паротурбинной установки, основанные на уравнениях тепловых балансов элементов.

В ходе работы составлен алгоритм и разработана программа в среде MS Excel для термогазодинамического расчета ГТЭ-160, дроссельных и климатических характеристик ГТУ, теплового баланса котла-утилизатора и парового контура ПГУ.

В работе выполнен расчет климатических характеристик ГТУ с использованием разработанной программы, проведен расчет ПГУ при разных температурах атмосферного воздуха и трех нагрузках ГТУ (110%, 100%, 75%). Исследованы зависимости параметров тепловой эффективности от температуры атмосферного воздуха, произведен их анализ, построена диаграмма режимов блока ПГУ-440.

### **Библиографический список**

1. **Зорин М. Ю.** Методические основы расчета и анализа схем утилизационных ПГУ: Учеб.-метод. пособие / ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». – Иваново, 2018. – 69 с.
2. **Барановский В. В.** Парогазовые энергетические установки в производстве электрической и тепловой энергии. - В. В. Барановский, Т. Ю. Короткова, Н. С. Тененик. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД. – 2022. – 52 с.

*В.И. Рудой, асп.; рук. М.В. Кобылкин, к.т.н.  
(ЗабГУ, г. Чита)*

## **УЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА СТОЧНЫХ ВОД**

Локальная утилизация теплоты хозяйственно-бытовых сточных вод относится к числу наиболее доступных способов энергосбережения в системах горячего водоснабжения. Наибольший практический интерес представляют аппараты прямого действия, устанавливаемые вблизи водоразборного прибора и обеспечивающие предварительный нагрев холодной воды. Однако фактическая работа санитарно-технических устройств носит переменный и кратковременный характер, что требует учета нестационарности при выборе конструкции аппарата [1].

Проведенный анализ показал, что эффективность локального теплоутилизатора определяется не только площадью поверхности теплообмена. Существенное влияние оказывают температура холодной воды, расход и длительность водоразбора, тепловая инерция аппарата, доступное монтажное пространство, гидравлическое сопротивление и загрязнение поверхности теплообмена. Научная новизна работы состоит в систематизации этих факторов и в обосновании положения о невозможности выбора универсального аппарата без учета конкретных условий эксплуатации. Личный вклад автора заключается в аналитическом обобщении исследований и формулировании критериев выбора рациональных параметров устройства.

Практическая ценность полученных выводов состоит в возможности их использования при проектировании компактных теплообменных аппаратов для жилых и общественных зданий, в том числе подключенных к централизованному теплоснабжению. Перспектива дальнейшей работы связана с разработкой инженерной методики расчета аппарата при стационарных и нестационарных режимах и экспериментальной оценкой влияния режимных и геометрических параметров на количество полезно утилизированной теплоты.

### **Библиографический список**

1. **Куницкий В.А., Лукин С.В.** Характеристики теплообменника для локальной утилизации теплоты сточных вод при различных условиях эксплуатации // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2024. Т. 26. № 2. С. 176-186.

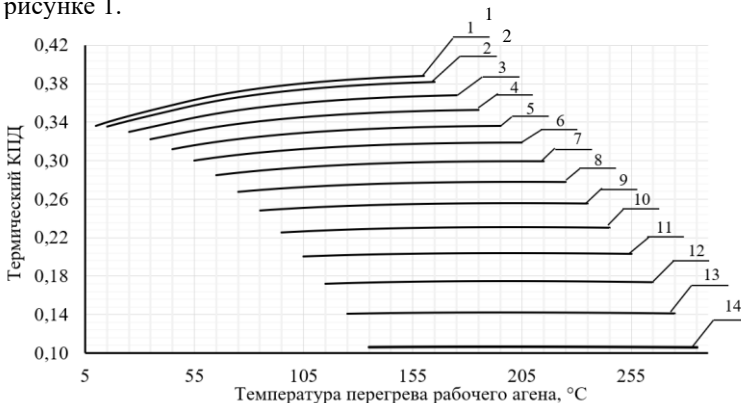
А.В. Самоловов студ.; рук. М.В. Козлова к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, Иваново)

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕВА РАБОЧЕГО АГЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЦР

Одним из способов утилизации теплоты продуктов сгорания, покидающих различные энергетические установки, является их использование в качестве греющей среды в испарителе органического цикла Ренкина (ОЦР).

Основным фактором, определяющим эффективность ОЦР является температура греющего источника, определяющего температуру испарения и перегрева. Кроме этого, существенное влияние на КПД оказывают свойства рабочего тела, используемого в цикле.

Установлено, что для утилизации дымовых газов, отводимых от дизельной электрической станции наиболее эффективным в ОЦР, является использование этиленоксида. В ходе исследования рассматривались температуры испарения в диапазоне от 60 °С до 185 °С., а температуры перегрева от 10 °С до 285 °С. Зависимость термического КПД ОЦР от температуры испарения и перегрева рабочего агента приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1** – Зависимость термического КПД ОЦР от температуры испарения и перегрева рабочего агента: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 – температура испарения рабочего агента 185, 180, 170, 160, 150, 140, 130, 120, 110, 100, 90, 80, 70, 60 °С

В ходе исследования установлено, что при повышении температуры испарения рабочего агента прирост КПД за счет увеличения величины перегрева возрастает более интенсивно, наиболее эффективным является температура испарения 185 °С, а температура перегрева 160 °С.

*И.С. Самуйлов, студ.; рук. В.А. Галковский, к.т.н., доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕПЛОЕМОСТИ В ТЕПЛОВИТЕЛЬНОМ БАЛАНСЕ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В тепловом балансе, при отсутствии значения одной из температур, возникает неопределённость значения теплоёмкости теплоносителя, так как в расчётах она принимается соответственно среднему арифметическому значению температур на входе и выходе из теплообменника.

Существует итерационный метод, при котором известна функция зависимости теплоёмкости от температуры.

$$\begin{cases} Q = G \cdot c_p \cdot (t_6 - t_m) \\ c_p = f\left(\frac{t_6 + t_m}{2}\right) \end{cases}$$

где:  $Q$ , кВт - тепловая мощность теплообменника,  $G$ , кг/с - массовый расход теплоносителя,  $c_p$ , кДж/(кг·К) - изобарная теплоёмкость,  $t_6$ , °С - большая из температур,  $t_m$ , °С - меньшая из температур.

Реализация алгоритма следующая: первый шаг - теплоёмкость принимает значение в зависимости от известной температуры. На втором шаге происходит расчёт неизвестной температуры согласно полученному значению теплоёмкости. На третьем шаге рассчитывается теплоёмкость по среднеарифметическому значению температур. Алгоритм повторяется до тех пор, пока разница итерируемых значений не попадёт в диапазон заданной погрешности.

Если функция зависимости теплоёмкости от температуры теплоносителя неизвестна, то возможно применение метода градиентного спуска.

$$\begin{cases} \nabla f(c_p) = -1 \cdot \frac{Q}{G} \cdot \frac{1}{t_6^2 - 2 \cdot t_6 \cdot t_m + t_m^2} \\ c_{p\ k+1} = c_p - \alpha \cdot \nabla f(c_p) \end{cases}$$

где:  $\nabla f(c_p)$  - градиент функции зависимости теплоёмкости от температуры,  $c_{p\ k+1}$  - значение переменной в предыдущем шаге,  $c_p$  - значение переменной в текущем шаге.

Реализация алгоритма аналогична первому.

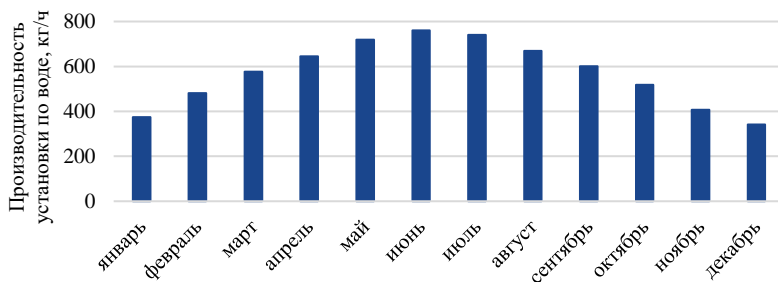
Сравнительный анализ показал, что итерационный метод эффективней в связи с большей точностью функции зависимости  $c_p(t)$ .

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

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕЛИООПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РФ

Основной недостаток термических опреснительных установок – это их высокое энергопотребление. В связи с этим перспективным является интеграция возобновляемых источников энергии в тепловые схемы установок данного типа. Наибольшее распространение при опреснении нашли системы солнечного теплоснабжения.

Для эффективного применения гелиоопреснительных установок необходимо размещать их на территории с высокой солнечной активностью. Наибольшая же способность улавливания потока солнечных лучей характерна для солнечных концентраторов. Для оценки эффективности использования солнечной энергии в термических опреснительных установках авторами разработана программа ЭВМ [1], с использованием которой для г. Керчь рассчитана месячная производительность по пресной воде (рис.1).



**Рисунок 1** – Среднемесячная производительность термической опреснительной установки с солнечным параболицилиндрическим концентратором

Согласно представленной диаграмме, производительность установки изменяется в течение года от 340 до 760 кг/ч, то есть установка функционирует на протяжении всего года, в зимний период производительность снижается 2,2 раза. Что позволяет судить о применимости подобного технического решения в регионах с подобными климатическими условиями, в которых наблюдается дефицит пресных водных ресурсов.

### Библиографический список

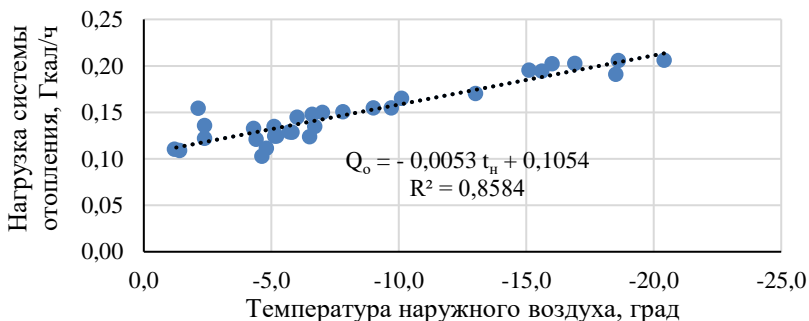
1. Козлова М.В., Семяшкин Р.Д. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026618517 Российской Федерации. «Расчет гелиоопреснительной установки»: заявл. 18.03.2026; опубл. 25.03.2026

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

## К УСТАНОВЛЕНИЮ (ПЕРЕСМОТРУ) ТЕПЛОЙ НАГРУЗКИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

В ИГЭУ разработана методика повышения информативности показаний узлов учета отапливаемых зданий, которая позволяет установить или пересмотреть максимальную тепловую нагрузку здания на отопление с оценкой качества режима отопления. Для этого необходимы среднесуточные показатели параметров теплоносителя и температуры наружного воздуха. В то же время, согласно Приказу Минрегионразвития № 610, для установления (пересмотра) тепловой нагрузки на отопление необходимо иметь среднемесячные показания данных узла учета тепловых пунктов здания. Полученные экспериментальные данные аппроксимируются простой линейной зависимостью; при вводе наружной температуры воздуха равной расчетной, устанавливается значение максимальной нагрузки системы отопления здания (рис. 1).

Выполненный нами вычислительный эксперимент с использованием одной и той же базы данных, но по различным методикам, дает идентичные значения тепловой нагрузки здания на отопление только при использовании дополнительных условий к базе данных показаний приборов согласно Приказу Минэнерго РФ № 511 при значении величины достоверной аппроксимации  $R^2 > 0,85$ .



**Рисунок 1** – Зависимость нагрузки здания на отопление от температуры наружного воздуха

Вышеприведенную методику можно применять для повышения информативности показаний узла учета или контрольно-измерительных приборов теплового пункта здания.

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

## **СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ И ВИДА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ СТЕНЫ**

Современные нормативные документы по энергосбережению требуют снижения тепловых потерь через ограждающие конструкции. Так, к 2028 году потребление энергоресурсов на создание микроклимата внутри помещений жилых зданий должно быть снижено на 50% относительного базового уровня.

Актуальным вопросом является размещение тепловой изоляции внутри или снаружи ограждающей конструкции, а также выбор её вида. При размещении тепловой изоляции внутри помещения сокращается полезный объем в комнате; несущие конструкции будут находиться в зоне отрицательных температур, что увеличивает количество циклов «замерзания – оттаивания» и сокращает срок службы. В то же время для некоторых зданий нет возможности размещать тепловую изоляцию снаружи, например, для архитектурных памятников.

В ходе исследования была разработана геометрическая модель стены, выполненной из кирпичной кладки из силикатного кирпича толщиной 0,640 м для 2-х вариантов: когда тепловая изоляция из полистирола находится внутри помещения и при наружном размещении. Были построены температурные поля, определены значения тепловых потоков, изменения температуры внутри кладки и на внутренней поверхности стены.

Было выполнено имитационное моделирование для случая использования в качестве тепловой изоляции жидко-керамического покрытия ThermalCoat. Это инновационное керамическое теплоизоляционное покрытие, разработанное для эффективной защиты поверхностей от теплопотерь и перегрева. Изначально материал был создан в Национальном аэрокосмическом агентстве (NASA) для защиты космических аппаратов (например, «Шаттлов») от неравномерного теплового воздействия. Вакуумные керамические микросферы — ключевой элемент теплоизоляции. Наносится кистью, валиком или распылителем, в т.ч. на поверхности сложной конфигурации и в труднодоступных местах.

Была определена толщина тепловой изоляции и теплозащитный эффект от её использования.

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

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННИКА АВАРИЙНОГО РАСХОЛАЖИВАНИЯ ПРОЕКТА ВВЭР-ТОИ**

Целью научной работы является разработка технических решений по модернизации теплообменника аварийного расхолаживания для условий Курской АЭС-2.

Теплообменник JNB10 в системе пассивного отвода теплоты (СПОТ) предназначен для передачи теплоты от парогенераторов к запасу охлаждающей воды, находящейся в баках аварийного отвода тепла. При разрыве главного циркуляционного трубопровода СПОТ осуществляет перевод горизонтальных парогенераторов на работу в конденсационном режиме первого контура, поступающего в трубчатку парогенератора из активной зоны реактора, в результате происходит нагрев воды второго контура до температуры насыщения с генерацией пара. За счет естественной циркуляции пар поступает в воздушные теплообменники, установленные на наружной поверхности защитной оболочки. Пар конденсируется и конденсат поступает обратно в межтрубное пространство парогенератора. Тепло пара отдается окружающему воздуху.

Для оптимизации системы аварийного расхолаживания предложен перенос узла отвода конденсата из теплообменника в трубопровод подачи пара в теплообменник аварийного расхолаживания и установка датчиков температуры для поддержания требуемого уровня. Для интенсификации теплообмена предложены кольцевые турбулизаторы.

В результате выполнения научной работы была создана имитационная модель верхней части теплообменника, позволяющая осуществить расчет термических напряжений в верхней трубной доске при снижении уровня конденсата.

Полученные результаты могут использоваться при проектировании и эксплуатации атомных электростанций с системой СПОТ.

### **Библиографический список**

1. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.
2. **Ходарев И.Г.** Справочник по расчету надежности и анализу безопасности оборудования АЭС: учебное пособие / И.Г. Ходарев. – Севастополь: СМУЭИП, 2012. – 136 с.

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

## **ПРОГРАММА РАСЧЕТА ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ЧИСЛА ТАРЕЛОК В АТМОСФЕРНОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЕ**

Целью научной работы является создание программы с использованием средств VBA Excel, позволяющей определять действительное число тарелок, необходимое для разделения бинарных смесей в атмосферной ректификационной колонне.

В качестве исходных данных пользователь задает:

- 1) КПД контактного устройства;
- 2) концентрации низкокипящего компонента (НКК) в дистилляте, кубовом остатке и питательной смеси;
- 3) два компонента смеси.

В качестве веществ в программе предложены: бензол, бутиловый спирт, вода, гептан, изопропиловый спирт, метиловый спирт, сероуглерод, толуол, сероуглерод, этиловый спирт.

После ввода исходных данных автоматически будет определен НКК и высококипящий компонент (ВКК) смеси, рассчитаны теплофизические свойства при различных значениях температур, построены диаграммы  $x, y$ ,  $t-x, y$  и  $h-x, y$ .

На диаграммах количество тарелок будет определено тремя графическими методами:

- 1) Мак-Кабэ-Тиле;
- 2) Понсона-Меркеля;
- 3) Понсона-Меркеля с учетом удельного теплового потока в конденсаторе.

По ближайшему результату, определенному по методу Понсона-Меркеля, к числу тарелок, определенному по методу Мак-Кабэ-Тиле, будет определено теоретическое число тарелок, а с учетом КПД - действительное.

### **Библиографический список**

1. **Захаров В.М.**, Смирнов Н.Н. Ректификационные установки: Учеб. пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. / ФБГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» – Иваново, 2017. – 388 с.

2. **Бухмиров В.В.** Тепломассообмен: учеб. пособие / ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2014. – 360 с.

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

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

Эффективность работы систем централизованного теплоснабжения во многом определяется состоянием тепловых сетей. Транспортировка теплоносителя от источника до потребителя неизбежно сопровождается потерями, обусловленными качеством тепловой изоляции трубопроводов.

Коллективом ученых ИГЭУ [1] была разработана конструкция тепловой изоляции тепловых сетей для снижения тепловых потерь в канале теплотрассы, состоящая из двух каркасных устройств П-образной формы с элементами опоры, выполненных из пластикового материала, облицованных рамами с теплоотражающими экранами, установленных с разными зазорами от внутренних поверхностей канала.

Совершенствование данной конструкции касается изменения конструкции теплоотражающих экранов, метода их крепления и установки.

Предлагаемая модернизированная конструкция включает панели многослойной изоляции, снижающие потери тепла за счет подавления сразу трех механизмов теплопередачи: кондукции, конвекции и излучения. Иными словами, создается эффект термоса, обеспечивающего комплексное сохранение тепла вокруг трубопровода. Каждая панель состоит из нескольких слоев металлизированных сэндвич-панелей, пространство между которыми заполнено инертным малотеплопроводным газом – аргоном. Сэндвич-панель состоит из двух пластиковых листов, пространство между которыми заполнено вспененным полиэтиленом. Пенополиэтилен является малотеплопроводным материалом. Дополнительно на каждой панели предусмотрен фольгированный слой, служащий барьером для лучистого теплообмена. В нижней части конструкции расположен отсек с влагопоглощающим материалом, который впитывает влагу и предотвращает развитие коррозии.

### **Библиографический список**

1. **Захаров В.М.**, Смирнов Н.Н. Патент на полезную модель «Устройство для утилизации тепловых потерь в канале теплотрассы» №120197. Заявка №2012115976, приоритет от 19.04.2012г. Зарегистрировано 10.09.2012 г. Опубликовано 10.09.2012 г. в бюллетене №25. Москва

*К.А. Фатеев, студ.; рук. В.А. Орехов, доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

При критическом износе тепловых сетей (60–70%) и росте аварийности проблема повышения надёжности теплоснабжения особенно актуальна. Традиционные статические расчёты не обеспечивают оперативной реакции на погодные изменения и нештатные ситуации. Цель работы – разработка подхода к интеллектуальному управлению режимами теплосетей на базе гибридного моделирования, объединяющего цифровые двойники (Digital Twin) и машинное обучение.

Новизна заключается в создании алгоритма, сочетающего предиктивную аналитику (рекуррентные нейросети LSTM) с физически обоснованным теплогидравлическим моделированием в среде цифрового двойника. Предложенный подход, в отличие от систем мониторинга, прогнозирует теплопотребление в реальном времени и автоматически корректирует параметры теплоносителя, минимизируя тепловые потери при соблюдении комфортной температуры у потребителя.

Разработана структура цифрового двойника участка сети: слой сбора данных IoT, слой динамического моделирования и слой принятия решений. Нейросетевая модель прогноза нагрузки обучена на ретроспективных метеоданных и показаниях приборов учёта. Точность прогноза температуры теплоносителя на тестовой выборке составила 97,2%. Практическая ценность подтверждена расчётами: снижение теплопотерь на 8–12% за счёт исключения «перетопов» в переходные периоды.

Перспективы работы связаны с интеграцией алгоритма в программно-аппаратные комплексы ЦТП и созданием системы поддержки принятия решений для диспетчерских служб теплоснабжающих организаций.

### **Библиографический список**

1. **Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети. 9-е изд. М.: МЭИ, 2021. 472 с.
2. **Чубаров В.В., Иванов С.П.** Применение нейросетей для прогноза теплопотребления // Вестник ИГЭУ. 2025. № 2. С. 45–52.

*Н.М. Худяков, асп., рук. С.Н. Ярунин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОНТУРОВ ОХЛАЖДЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭНЕРГОБЛОКОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС С РЕАКТОРАМИ РБМК**

Главной проблемой, возникающей при эксплуатации теплообменных аппаратов ТПС и ТПД контуров охлаждения системы управления и защиты (КО СУЗ), является биообрастание внутренней поверхности трубной системы, что приводит к снижению эффективности теплообмена. Требуется частая остановка теплообменников для очистки, особенно в летнее время из-за существенного повышения температуры морской воды на входе в теплообменный аппарат.

Зимний квартал  $t_{\text{мв}}^{\text{вх}} - 0,6 \leq t \leq 13,3 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{ср}}=4,54 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), летний квартал  $- 7,6 \leq t \leq 29,4 \text{ } ^\circ\text{C}$  ( $t_{\text{ср}}=18,92 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) по данным приборов учета со станции.

Охлаждающим теплоносителем является морская вода из Финского залива соленостью от 0,2‰ до 9,2‰.

Для повышения эффективности работы теплообменников ТПС и ТПД можно выделить следующие направления:

1. Разработка математической модели и номограммы для параметрической оценки степени загрязнения внутренней поверхности теплообменных аппаратов ТПС и ТПД для своевременной их очистки [1].

2. Применение методов ультразвуковой очистки трубной системы теплообменных аппаратов.

3. Применение методов фильтрации и флотации для защиты теплообменников от биообрастаний.

Повышение эффективности ТОА можно расширить направлением исследования в области методов снижения входящей температуры морской воды в летний период.

### **Библиографический список**

1. Румянцев, А. С. Имитационное моделирование работы кожухотрубного теплообменного аппарата в условиях наличия отложений биологического происхождения / А. С. Румянцев, М. В. Козлова // Цифровые системы и модели: теория и практика проектирования, разработки и использования : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 10–11 апреля 2025 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2025. – С. 1020-1024.

Н.М. Худяков, асп.; рук. С.Н. Ярунин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЦИКЛОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В данной работе была разработана программа по расчету пяти базовых циклов паротурбинных установок [1]. Теплофизические свойства воды и водяного пара определяются автоматически.

Результаты разработки программы представлены на рис. 1. В программе даны графические изображения тепловых схем базовых циклов ПТУ с выводом различных расчетных параметров, построены автоматизированные графики циклов в h-s и T-s – диаграммах и графики для исследования зависимости термического КПД циклов от изменения их начальных параметров и сводная таблица результатов расчета циклов.

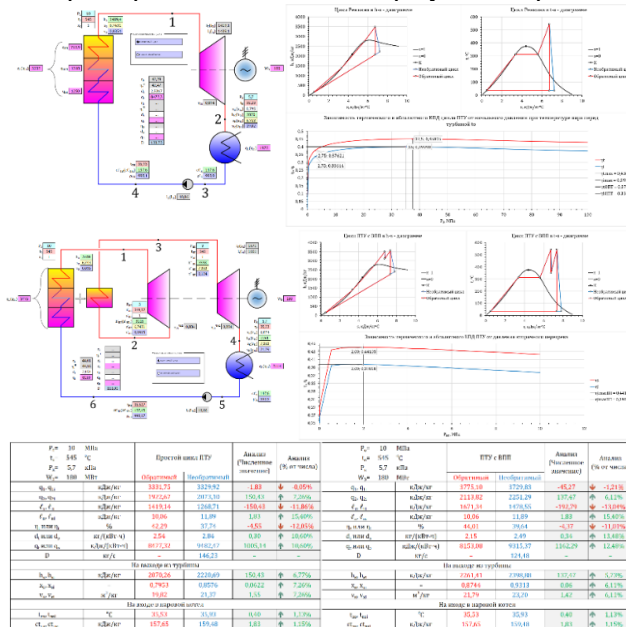


Рисунок 1 - Модернизация программы по расчету пяти базовых циклов ПТУ

### Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023684487. Программа для расчета и анализа циклов паротурбинных установок / Н.М. Худяков, Д.В. Ракутина, И.М. Чухин, Н.Н. Смирнов; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ИГЭУ.

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОТ АЭС

Одним из факторов, определяющих экономичность АЭС, является организация сепарации и промежуточного перегрева пара (СПП), параметры которой влияют на КПД турбоустановки, конфигурацию тепловой схемы и затраты на оборудование.

В работе проведён анализ существующих конструкций СПП, на основании которого рассмотрена модернизация СПП-1000 применительно к Калининской АЭС с турбиной К-1000-60/1500, включающая вертикальную систему, состоящую из сепаратора и двух ступеней промежуточного перегрева пара, в последних предусматривается замена кассет с продольным оребрением труб на поперечное [1]. Для оценки эффективности принятых решений в работе выполнено исследование зависимостей теплоотдачи для оребренных трубных пучков, а также сравнительный анализ результатов расчёта по формулам с имеющимися опытными данными, который показал рост коэффициента конвективной теплоотдачи со стороны нагреваемого пара.

Другим направлением повышения эффективности АЭС является использование теплонасосных установок для утилизации низкопотенциального сбросного тепла. Было рассмотрено включение в стандартную тепловую схему энергоблока абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса (АБТН), конденсационный контур которого интегрирован в единый корпус с цилиндром низкого давления [2].

Сравнительный анализ стандартной и предложенной схем показал увеличение используемого теплоперепада, снижение расхода пара и рост абсолютного электрического КПД турбины. Внедрение АБТН способствует повышению тепловой экономичности цикла и снижению эрозионного износа лопаток.

### Библиографический список

- 1. Легкоступова В. В.** Модернизация сепараторов-пароперегревателей энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР // В. В. Легкоступова, А. В. Судаков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Естественные и инженерные науки. — 2017. — Т. 23, № 3. — С. 61–73.
- 2. Ефимов Н. Н.** Оценка эффективности использования вторичной ступени промежуточного перегрева пара в схеме АЭС с абсорбционным тепловым насосом / Н. Н. Ефимов, И. В. Янченко, С. В. Скубиенко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2014. — № 3. — С. 20-24.

**СЕКЦИЯ 6**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ**

Председатель

д.т.н., профессор **Тютиков В.В.**

Секретарь

к.т.н, доцент **Блинов О.В.**

*С.Н. Градобоева, студ.; рук. М.С. Ковалёва., асс.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАDIАТОР ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

В данной статье представлена концептуальная структура радиатора для LED-лампы, основанная на использовании современных наноматериалов, тепловых трубок и оптимизированных геометрических решений, которые позволяют значительно повысить тепловую эффективность охлаждения, снизить температуру рабочих компонентов [1], [2].

Одной из наиболее острых проблем их внедрения является отвод тепла, так как повышение температуры существенно уменьшает КПД, удлинит срок службы устройств и повышает риск отказов.

Традиционные радиаторы используют алюминий из-за хорошей теплопроводности и малой стоимости от двух до восьми тысяч рублей [3]. Однако, их эффективность зачастую недостаточна: выдерживать рабочее давление 10-15 атм (биметаллические до 40 - 50 атм), иметь рН-устойчивость, высокую мощность (180 – 200 Вт/секцию). Использование медных ребер повышает эффективность, но увеличивает массу и стоимость. Новым направлением является применение наноматериалов, таких как графен, обладающих исключительной теплопроводностью, которая при комнатной температуре достигает примерно 3000–5000 Вт/(м·К) [4].

Разработанная концепция включает: интегрированные тепловые трубки, которые обеспечивают быстрый перенос тепла от LED-источников к радиаторной поверхности, и графеновые слои для повышения тепловой эффективности [4].

Проведенные дополнения показывает, что предложенная концепция позволяет снизить температуру LED-источников на 15–20 °С по сравнению с традиционными системами [1].

### **Библиографический список**

1. **Козлов, В. В.** Тепловые свойства наноматериалов.
2. **Иванов, В. П.,** Смирнова, Л. В. Современные материалы для теплоотводов: алюминий, медь, наноматериалы.
3. ГОСТ 31384-2018. Материалы наноструктурные. Термины и определения.
4. **Лебедев, И. М.** Тепловые трубки и их применение в электронной технике.

*Г.М. Макаров, студ.; рук. О.И. Мироничева, к.т.н., ст. препод.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМОВКИ КОНДИТЕРСКИХ МАСС**

В условиях растущего спроса на качественные кондитерские изделия актуальной задачей является совершенствование существующего оборудования и внедрение новых технологий в кондитерское производство.

Одним из актуальных направлений развития кондитерской промышленности является использование современного оборудования и инновационных решений, которые позволяющих повысить эффективность производства не нанося ущерб качеству продукции [1].

В ходе проведённого исследования был рассмотрен экструзионный метод производства ириса и доказано возможность его реализации на кондитерских предприятиях. Данный метод представляет собой альтернативу традиционным способам формования, позволяя обеспечить стабильное качество продукции и снижение потерь от производственного брака.

С целью повышения производительности экструдера, была выбрана разработана матрица с пятью отверстиями [2]. Экструзионный метод производства ириса с использованием матрицы, оснащенной пятью отверстиями, является не только перспективным, но и эффективным способом производства [3]. Внедрение экструзионного формования с пятиотверстной матрицей позволяет достичь следующих экономических показателей: рост производительности – до 80%; Снижение энергозатрат – на 15%; снижение производственного брака – с 8-10% до 1,5-2%. Данный метод является перспективным, его внедрение имеет высокую практическую значимость. Он позволяет обеспечить высокий уровень производительности, стабильное качество продукции и положительный экономический эффект.

### **Библиографический список**

1. Куликова, М. Г. Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5(107). – С. 126-127. – EDN YTWQEV.
2. Иванов, А.И. Совершенствование процесса формования ириса экструзионным способом / А.И. Иванов, Б.П. Петрова // Пищевая промышленность. – 2023. – № 5. – С. 45–48.
3. Патент № 2626582 С1 Российская Федерация, МПК А23L 17/00, А23L 19/12. натуральный экструдированный пищевой закусочный продукт : № 2016110046 : заявл. 18.03.2016 : опубл. 28.07.2017 / Г. В. Алексеев, О. И. Аксенова, М. Г. Куликова, Е. В. Егوشина.

*П.Е. Самусева, студ.; рук. М.А. Новикова, ст., преп.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ МЯСНОГО ДЕЛИКАТЕСА КАРБОНАД**

В настоящее время наиболее ярко выражены увеличение спроса населения к качественным и натуральным продуктам и рост тенденции к здоровому питанию, мясной деликатес карбонад может быть представлен как продукт, удовлетворяющий этим требованиям. В связи с этим разработка автоматизированной линии мясного деликатеса карбонад является актуальной и необходимой задачей. Технологическая схема производства включает в себя следующие этапы и параметры для автоматизации [1]: приемка сырья (определение качества входного сырья); обвалка и жиловка мяса (определение размеров кусков); подготовка посолочной смеси (контроль концентрации смеси); инъектирование 15 - 35% к массе несоленого сырья (анализ структуры мяса); массажирование 60 минут при 16 оборотах в минуту (контроль вакуума; созревание 16 - 24 часа при температуре 0 - 4°C (время операции); запекание 1 - 2 часа при температуре 100 - 120°C до достижения температуры в толще продукта 70 - 72°C (контроль температуры); охлаждение 2 - 3 часа при температуре 0 - 4°C до достижения в толще продукта 6°C (контроль температуры); упаковка (контроль готовой продукции). Данная технологическая схема включает в себя этапы инъектирования и массажирования, что позволяет обеспечить наиболее высокую производительность и минимизировать риск порчи продукта, в отличие от традиционных методов, характеризующихся значительной продолжительностью процесса посола [2].

Инъектирование мясного сырья осуществляется предварительно подготовленной посолочной смесью с помощью многоигольчатых инъекторов. Для стадии массажирования целесообразно использовать наклонный вакуумный массажер, так как он обеспечивает наиболее деликатную обработку, что очень важно для данного продукта.

Разработанная автоматизированная линия может быть использована при проектировании или модернизации существующих мясоперерабатывающих предприятий.

### **Библиографический список**

1. **Горлов И.Ф.** Разработка технологии производства запеченного карбонада / Горлов И.Ф., Божкова С.Е., Гниломедова С.А., Суркова С. А // *Аграрно-пищевые инновации*, 2020. С. 56-65.
2. **Дьячков А.Я.** Инновационные технологии производства мясных продуктов: учебное пособие / А.Я Дьячков, Ю.А. Ренева, Е.В. Михалева // *Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова*. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2022. С 96-109.

*П.Е. Самусева, студ.; рук. М.А. Новикова, ст., преп.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ВЛИЯНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЗАПЕКАНИЯ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАРБОНАДА**

Карбонад – популярный мясной деликатес из свинины, качество которого во многом определяется режимом термической обработки. Запекание, основанное на визуальном контроле технолога, не всегда может привести к необходимым и желаемым характеристикам готового продукта. Внедрение автоматизации в процесс запекания карбонада позволит минимизировать человеческий фактор и достигнуть высокого и стабильного качества продукции.

Автоматизированный процесс реализован в промышленной печи типа YX-AS с программным управлением [2]. Процесс управляется программируемым логическим контролером (ПЛК) по заданным параметрам. Перед загрузкой в камеру для контроля температуры в толщу наиболее крупных кусков карбонада внедряются игольчатые термопары. ПЛК автоматически осуществляет три стадии процесса: подсушка (80 °С, 15 минут); запекание (120 °С, интенсивная конвекция до достижения 70 °С в толще продукта); допекание (100 °С, 5-10 минут). При достижении в толще продукта 72 °С ПЛК отключает нагрев. Система позволяет поддерживать температуру в камере с точностью  $\pm 1$  °С, против  $\pm 10-15$  °С при ручном вводе.

Влияние на органолептические показатели карбонада: внешний вид и цвет: равномерная золотистая корочка без подгорания и бледных участков; ПЛК точно поддерживает температуру, а конвекция исключает местные перегревы; вкус и аромат: «запеченный» вкус и аромат от партии к партии; стабильные параметры на каждом этапе процесса создают условия для накопления летучих ароматических соединений; консистенция: сочная, нежная, без сырых участков; термопары предотвращают перегрев, потери влаги минимальны.

Автоматизация процесса запекания карбонада положительно влияет на его органолептические показатели: обеспечивается привлекательный внешний вид, равномерный цвет, необходимый вкус и аромат, оптимальная сочность и нежность.

### **Библиографический список**

1. Горлов И.Ф. Разработка технологии производства запеченного карбонада / Горлов И.Ф., Божкова С.Е., Гниломедова С.А., Суркова С. А // Аграрно-пищевые инновации, 2020. С. 56-65.
2. **Промышленная печь для запекания мяса YX-AS** / Синто-Тех. URL: <https://sinto-tech.ru> (дата обращения: 16.04.2026).

*Д.В. Лобанов, студ., Д.А. Смирнов, маг.;*  
*рук-ли: С.Б. Плетников, к.т.н., доц., Н.Н. Смирнов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ В ТАР ДЛЯ КУРСКОЙ АЭС-2**

В работе рассматривается модернизация системы регулирования уровня конденсата в теплообменнике аварийного расхолаживания (ТАР) парогенератора для условий Курской АЭС-2. Предлагаемое решение направлено на техническую модернизацию системы.

Теплообменник включает в себя две коллекторные камеры – верхнюю и нижнюю, а также две съемные крышки, корпус, патрубки, опорные элементы и строповые устройства. Внутреннее устройство данного корпуса, состоящего из обечайки и двух днищ, отражает особенности теплообменного оборудования. Межтрубная полость внутри корпуса предназначена для эффективного теплообмена. Здесь цилиндрические многозаходные змеевики выполняют роль теплоотдающих элементов, обеспечивая передачу тепла от одного средства теплоносителя к другому.

Сущность модернизации состоит в переносе узла отвода конденсата в трубопровод подачи пара в ТАР, установке двух датчиков температуры для автоматизированного поддержания требуемого состояния среды, а также переносе верхней врезки уровнемера выше зоны температурного контроля. Дополнительно предусматривается замена отдельных трубопроводов и патрубка подвода пара на нержавеющую сталь. Реализация указанных мероприятий позволит повысить надежность регулирования уровня за счёт установки новых и резервирования старых датчиков, снизить вероятность гидроударов при включении системы и уменьшить риск термомеханического повреждения теплообменника. Предполагается выполнить расчетное и имитационное подтверждение работоспособности модернизированной схемы в программном обеспечении SimInTech при помощи построений системы регулирования уровня в ТАР.

### **Библиографический список**

**1. SimInTech:** Применение информационных технологий в автоматическом управлении (Учебное пособие)-М.: ДМК Пресс, 2025.-580с.

*К.В. Кукишев, студ.; рук. О.И. Миронычева, к.т.н.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **РАЗРАБОТКА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ СЫРЦОВЫХ ПРЯНИКОВ**

Разработка производственной линии сырцовых пряников включает в себя комплекс задач: выбор технологической схемы, подбор оборудования, компоновку участков, и обеспечение бесперебойной работы линии [1]. Сырцовый способ производства пряников отличается от заварного тем, что не предусматривает процесса заваривания муки, это снижает энергозатраты и упрощает производство. Технологическая схема включает в себя следующие стадии:

1. Подготовка сырья (просеивание муки, приготовление сахаро-паточного сиропа, дозирование компонентов).
2. Замес сырцового теста при температуре 22-25°C.
3. Формование тестовых заготовок.
4. Выпечка при температуре 180-200°C.
5. Охлаждение до 35-40°C.
6. Упаковка готовых изделий.

На стадии замеса целесообразно использовать тестомесильные машины периодического действия с Z-образными или сигма-лопастными месильными органами. Формование сырцовых пряников чаще всего осуществляется методом отсадки на конвейерную ленту через формующие головки с профильными отверстиями. Альтернативным методом является экструдирование с последующей струнной резкой, что позволяет получать изделия сложной конфигурации. При разработке компоновки линии следует предусматривать следующие факторы: поточность движения сырья и готовых изделий (отсутствие пересечения потоков); санитарные разрывы между оборудованием (не менее 1.5м); возможность обслуживания и ремонта каждого узла; размещение участка приготовления сиропа в отдельном помещении или зоне с повышенной вентиляцией.

Разработка производственной линии требует учёта специфики сырцового теста при выборе оборудования. Предложенная технологическая схема может быть использована при проектировании или модернизации существующих кондитерских предприятий.

### **Библиографический список**

1. Куликова, М. Г. Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5(107). – С. 126-127. – EDN YTWQEV.

*К.В. Кукишев, студ.; О.И. Мироньчев, асс.; рук. Л.А. Тимошенко.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА ТЕСТОМЕСИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛИНИИ**

Главным критерием выбора является влажность теста. Для дрожжевого пшеничного теста с влажностью 38–45 процентов требуется интенсивное, но щадящее воздействие, которое развивает клейковинный каркас, не разрушая его [1]. Этому условию отвечают тестомесильные машины со спиральными или рамочными лопастями. Спираль, вращаясь со скоростью 1,5–2 метра в секунду, создаёт макроскопический сдвиг, при котором белковые цепи ориентируются вдоль линий тока, тесто насыщается кислородом и приобретает эластичность. Вторым важнейшим фактором является содержание жира в рецептуре. Для песочного или пряничного теста, где влажность не превышает 20 процентов, а доля жира может достигать 30 процентов, критическим параметром становится температура замеса. При интенсивном перемешивании тесто нагревается, жир плавится, и эмульсия расслаивается — в результате печенье теряет рассыпчатость и становится плотным. Поэтому для таких видов теста необходимы тихоходные планетарные машины с частотой вращения лопасти не более 30 оборотов в минуту. Третьим определяющим фактором выступает текучесть теста. Для жидких масс — бисквитного, блинного, вафельного теста — основная задача заключается не в развитии клейковины, а в диспергировании комков и равномерном распределении компонентов [2]. Здесь спиральные и планетарные машины малоэффективны, поскольку они не создают достаточных сдвиговых напряжений. Требуются лопастные или турбинные смесители непрерывного действия, в которых окружная скорость ротора достигает 10–15 метров в секунду.

Таким образом, выбор тестомесильной машины не может быть универсальным и определяется прежде всего реологической группой теста, но должно соответствовать производительности производственной линии.

### **Библиографический список**

1. Куликова, М. Г. Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5(107). – С. 126-127. – EDN YTW0EV.
2. Зубченко, А. В. Технология кондитерских изделий / А. В. Зубченко. – Воронеж: ВГТА, 2007. – 432 с.

*Д.В. Лобанов, студ.; Е.С. Маренков, студ.  
рук. В.М. Пушков, ст. преп., С.Г. Ставров, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

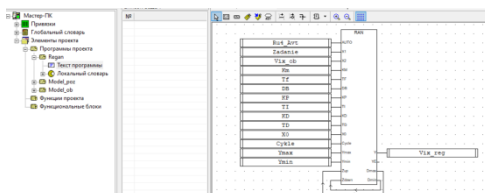
## ПРОГРАММНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В данной работе используются следующие программные средства, устанавливаемые на персональный компьютер.

Unimod PRO – комплект программного обеспечения для конфигурирования и программирования промышленных контроллеров TREI [1]. TRACE MODE 7 – программная SCADA, предназначенная для разработки и исполнения систем промышленной автоматизации [2].

Создание системы управления включает несколько шагов.

В инструментальной среде Unimod PRO создается проект, реализующий автоматический регулятор, рис. 1.



**Рисунок 1** – Использование блока RAN в программе аналогового регулятора

Проект загружается на исполнение в «Мастер ПК» – эмулятор мастер-модуля контроллера TREI. В инструментальной среде TRACE MODE 7 создается проект, реализующий модель объекта управления и графический интерфейс оператора. Выполняется настройка обмена данными TRACE MODE 7 с Unimod PRO по технологии OPC.

Проект SCADA запускается на исполнение. Путем изменения задания регулятору и подачи возмущающего воздействия на объект проверяется работоспособность системы.

С помощью данной методики были смоделированы системы управления с аналоговым и импульсным регуляторами [3].

### Библиографический список

1. <https://trei.biz/komplekt-programmnogo-obespecheniya-unimod-pro/>
2. <https://www.tracemode.ru/>
3. Бушуев К.А. Компьютерный тренажер для наладки импульсного регулятора / К.А. Бушуев, В.М. Пушков // Энергия-2024. – Иваново: ИГЭУ, 2024. – С.118.

*Д.В. Лобанов, студ., А.С. Гаричев, студ., Е.А. Неробов, студ.;*  
*Рук. О.В. Блинов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СТРУКТУРА МОДЕЛИ ТУРБОУСТАНОВКИ ПТ-80 ДЛЯ СТАЦИОНАРНОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

В рамках исследования разработана многоуровневая расчётно-аналитическая модель турбоустановки типа ПТ-80, предназначенная для комплексной параметрической интерпретации стационарных и нестационарных режимов функционирования теплофикационного турбоагрегата.

На вход программно-математического комплекса подаётся совокупность режимно-определяющих и эксплуатационно-значимых параметров, на основании которых формируются исходные данные для расчета модели, при этом также учитываются как внутренние технологические ограничения, так и внешние возмущения, например, изменение нагрузки со стороны потребителя.

Стационарное расчётное ядро модели интегрирует математические описания звеньев расчётной схемы. В пределах данной подсистемы осуществляется расчет технологических параметров турбоагрегата. Дополнительные сервисные модули реализуют процедуры верификации эксплуатационных ограничений.

Результаты расчётного эксперимента для более удобного анализа представляются в табличной, графической и поканальной формах, что создаёт предпосылки для многокритериальной инженерной интерпретации полученных данных.

### **Библиографический список**

1. Турбина паровая ПТ-80/100-130/13 ЛМЗ. Технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования: СТО 70238424.27.040.020-2009. — Москва: НП «ИНВЭЛ», 2009. — 279 с.
2. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата ПТ-80/100-130/13 ЛМЗ: ТХ 34-70-010-85. — Москва: Союзтехэнерго, 1985. — 48 с.

*Д.В. Сухов, студ., Т.С. Айнулов, студ.,  
И.Н. Кукушкин, студ., Дубровина А.С., студ.;  
рук. О.В. Блинов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА**

Надежное электроснабжение жилых комплексов имеет большое значение, так как при отключении электроэнергии перестают работать системы отопления, холодильные установки и другая техника, отвечающая за качество жизни и безопасность. Поэтому применение резервных источников питания является необходимым. Цель работы - разработка системы автоматизации резервного питания жилых объектов.

В состав системы входят основной источник (городская сеть), резервный источник (генератор, мощностью 5-10 КВт), а также блок автоматического ввода резерва (АВР) и система управления на базе контроллера. Актуальность работы связана с необходимостью повышения надежности электроснабжения и сокращения времени реакции на аварийные ситуации. Предложенное решение учитывает особенности электроснабжения жилых объектов и может быть использовано на практике.

В ходе работы была разработана схема автоматизации, обеспечивающая автоматическое переключение на резервное питание при пропадании напряжения и возврат к основной сети после его восстановления. Это позволяет обеспечить бесперебойную работу системы без участия человека. Практическая ценность работы заключается в возможности применения разработанной системы для повышения надежности электроснабжения жилых объектов. В дальнейшем планируется развитие системы с использованием современных средств автоматизации и внедрением удаленного мониторинга.

### **Библиографический список**

1. Электронный ресурс: [<https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-raboty-rezervnogo-elektrosnabzheniya-individualnogo-zhilogo-doma-ot-sistemy-s-nakopitelyami-lektoenergii>]
2. Электронный ресурс: [<https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-akoplenie-elektoenergii/1534/>]

*В.А. Перевезенцева, студ.; Е.А. Быкова, студ.;  
рук. О.В. Блинов, к.т.н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЭМУЛИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Часто на стадии проектирования математического и программного обеспечения АСУТП возникают задачи проверки алгоритмов управления в условиях, максимально приближенных к реальным процессам. Идеальным вариантом являются испытания на реальном объекте, однако по разным причинам это часто невозможно.

Цель работы заключается в интеграции приложений для разработки ПО контроллеров и средств имитационного моделирования. Программные инструменты моделирования позволяют создавать модели объектов управления и других устройств системы с разным уровнем точности в зависимости от требований исследования. Это, на наш взгляд, расширяет и совершенствует инструментарий разработчика ПО для контроллеров.

В рамках единого комплекса используются: система имитационного моделирования Vissim (для построения модели объекта регулирования); среда программирования промышленных контроллеров CODESYS (3S-Smart Software Solutions), включая эмулятор ПЛК SP PLCWinN и OPC-сервер. Структурная схема взаимодействия компонентов приведена на рисунке.

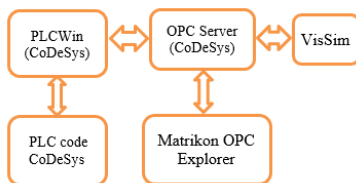


Рис.1. Структурная схема межпрограммного обмена.

В результате выполнения работы разработана технология эмуляции алгоритмов управления теплоэнергетическими процессами, основанная на моделировании объекта управления и организации взаимодействия модели с программным обеспечением ПЛК.

### Библиографический список

1. **Зюбин В.Е.** Программирование ПЛК: языки МЭК 61131-3 и возможные альтернативы // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005, №11. С.31...35.

*Д.В. Лобанов, студ., А.А. Ильин, студ.;  
рук. А.А. Лебедев преп. цикла ЭПС  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ**

В работе рассматривается задача проектирования локальной телефонной сети для распределённого объекта с использованием технологий IP-телефонии. Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания единой телекоммуникационной среды, обеспечивающей надёжное

голосовое взаимодействие между территориально разнесёнными узлами, снижение эксплуатационных затрат и возможность последующего масштабирования сети без существенного усложнения её архитектуры.

Предлагаемая структура сети основана на использовании IP-маршрутизаторов, локальных автоматических телефонных станций, абонентских IP-терминалов и вспомогательных сетевых устройств, объединённых в общее адресное пространство. Архитектурное решение предусматривает организацию нескольких функционально обособленных сегментов, каждый из которых включает маршрутизирующий узел, средства телефонии и абонентские устройства. Такой подход обеспечивает логическую структурированность сети, упрощает администрирование и создаёт условия для поэтапного расширения системы связи.

В рамках работы разработана структурная схема локальной телефонной сети, определены принципы адресации узлов, распределения абонентских номеров и взаимодействия между периферийными и центральными сегментами. Особое внимание уделено вопросам надёжности сети, устойчивости передачи голосового трафика и интеграции телефонной подсистемы с другими IP-устройствами объекта.

### **Библиографический список**

1. Компьютерные сети: учебник и практикум для вузов / под науч. ред. А. М. Нечаева, А. Е. Трубина, А. Ю. Анисимова. Москва: Юрайт, 2025. 515 с

*В.В. Кулешов, студ.; рук. М.А. Климова, к.т.н., доц.  
(НИУ «МЭИ», Москва)*

## **О ПРИМЕНЕНИИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Развитие водородной энергетики обуславливает интерес к исследованию динамических режимов работы электролизных установок. В реальных системах электролизер работает при переменной нагрузке, изменяющихся токовых режимах, температуре, давлении и составе электролита. В связи с этим возникает задача анализа устойчивости процессов электролиза воды, а также определения диапазонов параметров, при которых математическая модель корректно описывает поведение реального объекта.

Традиционно устойчивость оценивается по критерию устойчивости Ляпунова. Современные же методы теории управления позволяют анализировать зависимость устойчивости не только от управляющих воздействий, но и от текущего состояния системы и значений параметров модели [1]. В работе рассматривается возможность применения современной теории управления к математическому описанию процессов электролиза при представлении модели электролизера в пространстве состояний:

$$\begin{aligned}X &= AX + BU \\ Y &= CX + DU\end{aligned}$$

где  $X$  и  $U$  - векторы переменных состояния и управляющих воздействий,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  – матрицы состояния, управления, выхода и связи соответственно. Нелинейная модель линеаризуется, после чего анализируются действительные части собственных чисел матрицы Якоби: если они отрицательны, режим работы устойчив, в противном случае - линейно неустойчив. Через сравнение реального поведения системы и оценки её устойчивости также можно сделать вывод о корректности модели.

Таким образом, современная теория управления представляет собой перспективный инструмент исследования электрохимических систем, позволяющий перейти к изучению структуры областей устойчивого функционирования, а также использовать результаты математического анализа для верификации и совершенствования моделей электролизных установок.

### **Библиографический список**

1. **Воронов А. А.** Введение в динамику сложных управляемых систем //Наука. 1985

**СЕКЦИЯ 7**

**ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ**

Председатель

к.т.н., доцент **Григорьев Е.Ю.**

Секретарь

ст. преподаватель **Туманова К.Н.**

*В.Г. Зологин, асп.; рук. Вохмянин С.М., д.т.н., проф.  
(СПбГМТУ, г. Санкт-Петербург)*

## **НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ГАЗОВЫХ ТУРБИН С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Известно, что в современных газотурбинных установках наиболее ответственными элементами являются лопатки турбины, подверженные высоким температурам газа и значительным механическим нагрузкам. В данной работе анализируются дополнительные факторы, влияющие на точность оценки термонапряжённого состояния охлаждаемых лопаток и, как следствие, на точность прогноза их работоспособности.

Технологический фактор. Существенную неопределённость в расчётную оценку прочности вносят технологические отклонения, возникающие при изготовлении охлаждаемых лопаток. При литье полых лопаток смещение и завалы керамического стержня приводят к изменению формы внутренней полости и реальной длины отдельных участков каналов охлаждения, что меняет распределение расхода и локальные коэффициенты теплоотдачи. Дополнительный вклад вносит разброс геометрии отверстий плёночного охлаждения: отклонения по диаметру, форме и углам наклона отверстий изменяют расход через них и структуру газовой плёнки, что ухудшает соответствие расчётной модели реальной температурной картине на поверхности пера.

Эксплуатационный фактор. В условиях реальной эксплуатации под воздействием термических и механических нагрузок изменяется геометрия охлаждаемой лопатки со стороны газа и деформируется тракт течения охладителя. Вследствие этого изменяется внешний теплоподвод от газа к лопатке и внутренний от тела лопатки к охладителю. Также меняются усилия, действующие на лопатку, со стороны газа и центробежных сил. Таким образом, лопатка входит в состояние зачастую существенно отличное от прогнозируемого расчетом.

Авторами предлагается оценивать термонапряжённое состояние и ресурс охлаждаемых лопаток не по номинальным проектным моделям, а по геометрии, откорректированной на основе статистических данных о технологических отклонениях при изготовлении и изменениях геометрии под действием эксплуатационных нагрузок. Такой подход позволит повысить адекватность модели реальным условиям эксплуатации.

Э.С. Мухаметова, студ.; рук. М.А. Трещева, к.т.н., доц.  
(СПбПУ, г. Санкт-Петербург)

## СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГТЭ-160 ПРИ РАБОТЕ НА МЕТАНЕ И МВС

Последовательный переход к низкоуглеродной энергетике требует поиска решений, позволяющих снизить выбросы оксидов углерода без замены работающего оборудования [1, 2]. Это возможно с помощью подмешивания водорода к природному газу для последующего сжигания в газотурбинной установке (ГТУ). Изменение состава топлива, поступающего в камеру сгорания, влияет на процесс горения, а следовательно, и технико-экономические показатели (ТЭП) ГТУ. Количественная оценка таких изменений позволяет судить о целесообразности и последствиях перехода на метано-водородные смеси (МВС) для конкретного оборудования.

Проведена оценка влияния малой добавки водорода (5 %) на ТЭП ГТУ типа ГТЭ-160.

Для случаев сжигания 100 % метана и МВС состава: 95 %  $\text{CH}_4$  и 5 %  $\text{H}_2$ , произведен стехиометрический расчет продуктов сгорания, составлен тепловой баланс камеры сгорания, определены параметры рабочего тела и ТЭП ГТУ (табл. 1).

**Таблица 1 – Показатели эффективности ГТЭ-160**

Наименование Вариант	Температура вы- хлоп- ных га- зов, °С	Расход топ- лива, кг/с	Расход воз- духа, кг/с	Расход уходя- щих га- зов, кг/с	Электри- ческая мощ- ность, МВт	КПД ГТУ, %
100 % $\text{CH}_4$	531,41	8,98	495,93	504,90	156,98	34,94
95 % $\text{CH}_4$ + 5 % $\text{H}_2$	531,36	8,80	496,44	505,23	157,02	34,93

Результаты расчета позволяют оценить изменения ТЭП типовой для российской энергосистемы ГТУ при переходе с чистого метана на МВС с сохранением или незначительными отклонениями основных параметров, таких как: степень расширения рабочего тела в турбине, температура газов до и после турбины, электрическая мощность.

Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях в области применения водорода в энергетике, а также для разработки рекомендаций по эксплуатации ГТЭ-160 на МВС.

### Библиографический список

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года [утверждена распоряжением Правительства РФ от 12 апреля 2025 г. № 908-р]
2. Климатическая доктрина Российской Федерации [утверждена указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2023 г. № 812]

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

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДНОЙ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ТЭС**

В ходе работы ТЭС в тепловой схеме теряется некоторое количество рабочего тела: в дренажах постоянной продувки котла, в уплотнениях турбины и выпарах конденсаторов и подогревателей. Для восполнения потерь рабочего тела в ряде случаев используется испарительная установка. Качество же очищенной воды достигается за счёт двухступенчатой дистилляции.

Испарительная установка [1] состоит из деаэратора, двух последовательно соединённых испарителей и охладителя выпаров. Предварительно подогретая ХОВ (химически очищенная вода) до температуры насыщения в деаэраторе поступает в трубное пространство первого испарителя. В качестве греющего пара выступает пар V (пятого) отбора турбины. Испарившаяся ХОВ попадает во второй испаритель в качестве греющего пара. Источником дистиллируемой жидкости для второго испарителя служат: конденсат, образовавшийся на тарелках испарителя, и часть дистиллируемой ХОВ первого испарителя.

Конденсат греющего пара и выпар второго испарителя поступают в охладитель выпаров – поверхностный теплообменник, где охлаждаются питательной водой.

Представленная схема обеспечивает существенную экономичность из-за возможности использования выпара первого испарителя в качестве греющего пара испарителя второй ступени.

Разработанная математическая модель испарительной установки энергоблока 850 МВт Пермской ГРЭС позволяет проводить как индивидуальные исследования режимов её работы, использование тех или иных мероприятий энергосбережения, так и в составе математической модели всего энергоблока [1] для оценки влияния режимов работы экономичность всего энергоблока на различных режимах.

### **Библиографический список**

1. Трахунин А.А., Панин П.В. Производственная инструкция по эксплуатации испарительной установки. ИЭ-37 КТЦ№ 1 Пермская ГРЭС, 36 с.
2. Виноградов А.Л. Сетевой программный комплекс «Компьютерный тренажёр паротурбинного энергоблока 850 МВт для оперативного персонала филиала «Пермская ГРЭС». // Виноградов А.Л. Киселев А.И., Григорьев Е.Ю., Буданов В.А., и др. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2024619871

*М.И. Будаков, маг.;рук. И.В. Будаков, к.т.н., гл. инженер  
(АО «Стенд», г. Комсомольск); В.А. Буданов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЛИЯНИЕ ОКРУЖНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОТОКА ВОЗДУХА ПЕРЕД КОМПРЕССОРОМ НА ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ТУРБИНЫ ГТЭ**

В наземных газотурбинных установках (ГТУ) наблюдается окружная неравномерность распределения скоростей и давлений на входе в осевой компрессор, обусловленная конструктивными особенностями воздухозаборного тракта и неравномерным обогревом входного тракта системой антиобледенения. Эта неравномерность вызывает изменение углов атаки на лопатках первых ступеней компрессора, что негативно сказывается на его устойчивости.

На входе в компрессор газотурбинной энергетической установки ГТЭ-110М скорость воздушного потока перед первой ступенью, в зависимости от режима работы, варьируется в диапазоне от 80 до 120 м/с.

В процессе прохождения воздушного потока через компрессор происходит увеличение давления и уменьшение площади проходного сечения. В результате этого возрастает осевая скорость воздушного потока, достигая значений в диапазоне от 200 до 310 м/с.

В результате эти возмущения достигают турбины, вызывая локальные изменения температуры газа перед сопловым аппаратом и по всей проточной части турбины. В процессе эксплуатации двигателя отклонение температуры выхлопных газов за турбиной от средней достигают 50°С при исходной неравномерности на входе в компрессор на уровне 2,5% по полному давлению. Таким образом, окружная неравномерность температурного поля перед сопловым аппаратом первой ступени может достигать 100°С. Это приводит к возникновению многоцикловых термических напряжений в лопатках турбины, что значительно снижает их ресурс.

### **Библиографический список**

1. Будаков, Игорь Владимирович. Тепловой расчет энергетического блока ПГУ на базе ГТД-110 (М) : учебное пособие / И. В. Будаков, Д. Н. Панфилов, С. М. Скирта. - Рязань: Рязанская областная типография, 2023. - 304 с

*А.Х. Ятим, студ.; рук. А.В. Игнатьев, нач. отдела («АО «Зарубежэнергопроект», г. Иваново); Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ**

В условиях санкций и ухода иностранных вендоров с российского рынка, критически важным фактором устойчивости проектных организаций в энергетике становится способность к быстрому импортозамещению ключевых цифровых инструментов. АО «Зарубежэнергопроект», обладая 25-летним опытом применения BIM-систем, столкнулось с риском потери производительности из-за ограничений в работе иностранного ПО.

Внедрение российского программного комплекса InterBridge для формирования и визуализации комплексных информационных моделей позволило не только снять инфраструктурные риски, связанные с импортозависимостью, но и получить прирост эффективности проектирования крупных энергообъектов.

Переход на InterBridge позволил сократить время загрузки тяжеловесных моделей, обеспечив комфортную работу на существующем парке компьютеров без затрат на модернизацию. Это вернуло практику проектирования в модели на всех этапах.

Компания успешно реализовала методологию объединения данных из разнородных САПР (SmartPlant 3D, Tekla Structures) в единую информационную модель. Это критически важно для объектов класса, например, «Ударная ТЭС», где требуется синхронизация сотен тысяч элементов оборудования, строительных конструкций и трубопроводов.

Использование формата .r3db обеспечило возможность бесшовной передачи модели строительному генподрядчику и эксплуатационной службе, что соответствует мировым практикам управления полным жизненным циклом объекта.

### **Библиографический список**

1. Статья о переходе компании на российское ПО InterBridge для 3D-моделирования. [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=22303](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=22303)
2. О внедрении инструмента визуализации информационной модели InterBridge. [https://mashportal.ru/news/company/company\\_news-44959.aspx](https://mashportal.ru/news/company/company_news-44959.aspx)
3. Общая информация о компании, истории и основных направлениях деятельности. <https://www.eprussia.ru/com/company/2207.htm>.

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

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЭНЕРГОБЛОКА

Эксплуатация тепловых электростанций сталкивается с необходимостью иметь режимные карты турбин, которые представлены только в бумажном виде (сканы графиков) [1], что затрудняет их использование для точного математического моделирования и настройки оборудования.

Разработана цифровая модель технологического процесса энергоблока с турбиной ПТ-80/100-130/13 [2]. Для её создания использован метод аппроксимации на основе оцифрованных данных (с помощью программы Grafula) данных с бумажных режимных карт. Полученные полиномиальные зависимости (с высокой точностью совпадающие с исходными точками) сведены в таблицы и интегрированы в наглядный мнемосхему. Модель позволяет задавать положение регулирующего клапана, рассчитывать расход пара, давление в отборах, температуры, расходы в подогревателях (ПНД, ПВД, деаэраторе) и итоговую мощность турбины.

Создание математических моделей энергооборудования ТЭС обеспечивает базу для использования их производственно-техническим отделом при проведении расчетов, анализов режимов работы; непосредственно эксплуатационным персоналом, ведущим режим работы.

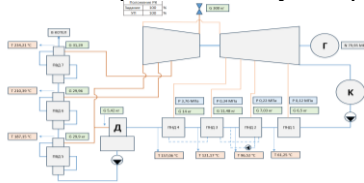


Рис.1 Интерфейс программы для ЭВМ «Цифровая модель термодинамических процессов турбины ПТ-80/100-130/13»

### Библиографический список

1. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата ПТ-80/100-130/13 ЛМЗ. Союзтехэнерго, Москва, 65 с.
2. Григорьев Е.Ю. Цифровая модель термодинамических процессов турбины ПТ-80/100-130/13// Григорьев Е.Ю., Шестаков А.П., Степанов Д.А. Свидетельство о гос. регистрации программы ЭВМ №2026619444 от 02.04.2026

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

## **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ТЭС**

Для повышения экономичности газозвдушного тракта котельной установки применяют регенеративные воздухоподогреватели. Их работа заключается в теплопереносе энергии уходящих топочных газов к воздуху, поступающему на горение.

Конструкция РВП состоит из вращающегося на вертикальном валу ротора, внутри которого располагаются нагревательные секции, состоящие из гофрированных стальных листов.

Передача тепла в воздухоподогревателе производится следующим образом. При вращении ротора нагревательные секции, через которые проходят дымовые газы, аккумулируют тепло, передавая его потоку воздуха при перемещении их на воздушную сторону. Охлажденная набивка переносится ротором в газовый поток и снова нагревается. Таким образом осуществляется непрерывный теплообмен между горячими дымовыми газами и холодным воздухом.

В докладе рассмотрены возможные методы по повышению энергоэффективности РВП:

- Регулярная высокотемпературная промывка и применение виброочистки снижают затраты на тягу.[1]

- Предварительный подогрев воздуха сухими вентиляторными градирнями (СВГ). В СВГ в отличие от традиционных градирен используется только воздушный теплообмен. Использование предварительно подогретого воздуха позволит повысить температуру уходящих газов на выходе РВП выше температуры конденсации серной кислоты (около 105 °С), что уменьшит коррозионный износ РВП.

- Использование комбинированной набивки. Для предотвращения коррозии предлагается использовать в зоне, где дымовые газы выше 110 °С обычную стальную набивку. В зоне низких температур – набивку с керамическим покрытием.

Приведенные выше методы позволяют уменьшить энергопотребление ТДМ/ТВД и снизить расходы на ремонт и замену набивки РВП.

### **Библиографический список**

1. Белосельский Б.С., Соляков В.П. Энергетика и энергосберегающие технологии — Издательство МЭИ, 2005.

*А.П. Ефремов, студ.; рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГТУ**

Развитие нейросетей и искусственного интеллекта не стоит на месте в настоящее время. Многие компании по производству и эксплуатации ГТУ используют данный метод. Развитие нейросетей помогает и улучшает развитие теплоэнергетики как в общем, так и в частных вопросах.

Разработка программно-аппаратных комплексов на основе искусственного интеллекта для контроля в реальном времени топливных циклов позволяет модернизировать режимы сгорания под текущую нагрузку и состояния оборудования. Такие системы анализируют параметры рециркуляции и распределения топлива, обеспечивая не только экономию ресурса, но и снижение выбросов за счет точной настройки экологических параметров горения. В производстве и обслуживании лопаток активно используют искусственный интеллект для распознавания дефектов ГТУ. Современные системы достигают точности обнаружения мелких царапин и сколов до 96%, вводя видеокамеры конкретно в технологический процесс полировки, что исключает человеческий фактор и ошибки визуального контроля. Методы машинного обучения, включая нейронные сети и анализ вибросигналов, применяются для нахождения повреждений и обнаружения разрушений лопаток из высоколегированных сталей. Данные подходы позволяют не только обнаружить уже возникшие дефекты, но и предугадывать новые моменты неустойчивой работы, оптимизируя интервалы технического обслуживания и повышая безопасность эксплуатации ГТУ.

Таким образом, использование нейросетей и искусственного интеллекта заметно сказывается на развитие и эксплуатацию газотурбинного оборудования.

### **Библиографический список**

1. Новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещаний и ИТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.comnews.ru/pfo>
2. Единицы депозитарий результатов интеллектуальной деятельности [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.edrid.ru/rid/225.018.870e.html>
3. 3-й ежегодный форум "" ЦОД: модели, сервисы, инфраструктура [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iksmedia.ru/news/5996666-ODK-primenyaet-iskusstvennyj-intell.html>

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

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕЗДЕАЭРАТОРНЫХ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ В ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ

Повышение маневренности и надежности мощных энергоблоков является одной из приоритетных задач современной электроэнергетики, особенно в свете планов по вводу новых атомных мощностей. Одним из перспективных направлений решения этой задачи является переход на бездеаэрационные тепловые схемы (БТС), позволяющие сократить количество вспомогательного оборудования и упростить конденсатно-питательный тракт. Однако при этом необходимо обеспечить сохранение высокой экономичности паротурбинной установки (ПТУ).

При переходе на БТС предложена схема каскадного слива конденсата греющего пара (КГП) ПВД: из ПВД-8 в ПВД-7, далее в смешительный узел на напоре КЭН-II (в рабочих режимах) или в ПНД-4 (на пуске). Слив КГП из ПВД-6 направляется в ПНД-4, а в пусковых режимах — в конденсатор. Потоки сред, ранее поступающие в деаэратор, перенаправляются в ПНД-2. Для этого ПНД-2 выполняется смешивающим: он берет на себя функции демпфера и обеспечивает необходимый запас воды при пуске и переходных процессах.

В таблице представлены данные, полученные из математических моделей блоков 300 МВт с деаэратором и без него.

**Таблица 1. Сравнение основных параметров энергоблока 300 МВт**

Показатель	Деаэрационная схема	БТС	Отклонение
Температура питательной воды на входе в котел, °С	269	266	-3 °С
Расход пара в отбор на ПВД-3, т/ч	45,2	58,7	+29,9 %
Расход пара в конденсатор, т/ч	532	524	-1,5 %

Анализ номинального режима ПТУ без деаэратора показал рост тепловой нагрузки на ПВД-3 из-за снижения температуры питательной воды на входе. Температура конденсата за ПНД-4 не превышает 135 °С, а его подогрев в смесителе составляет 8–10 °С.

Таким образом, применение БТС может быть экономически целесообразно как для ТЭС, так и для АЭС большой мощности.

### Библиографический список

1. Ефимочкин, Г.И. «Бездеаэрационные схемы паротурбинных установок»/ Г.И. Ефимочкин. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Свидетельство регистрации программы для ЭВМ № 2008613477.

*И.А. Степанов, студ.; рук., В.А. Буданов В.А. к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЛИЯНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА НА СОВМЕСТНУЮ РАБОТУ ГТУ И ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

В парогазовых установках (ПГУ) котёл-утилизатор (КУ) выполняет функцию связующего звена между газовой и паровой турбинами. Гидравлическое сопротивление газового тракта КУ непосредственно формирует величину противодействия на выходе из газовой турбины (ГТУ), что изменяет степень её расширения и, как следствие, мощность и экономичность. Одновременно с этим сопротивление КУ влияет на температурный потенциал газов, поступающих в поверхности нагрева, и, следовательно, на паровую производительность и мощность паровой турбины (ПТУ).

Газотурбинная установка проектируется на номинальное давление за турбиной, соответствующее атмосферному или заданному значению. Включение КУ в газовый тракт создаёт дополнительное гидравлическое сопротивление, которое повышает давление за турбиной (противодавление). Согласно газодинамическим закономерностям, увеличение противодействия при неизменных параметрах перед турбиной приводит к снижению степени расширения газа. Это вызывает уменьшение располагаемого теплоперепада на турбине и, как следствие, снижение её мощности и КПД. Кроме того, рост противодействия может приводить к изменению расходных характеристик проточной части и снижению газодинамической устойчивости компрессора ГТУ.

Изменение режима работы ГТУ под влиянием противодействия одновременно изменяет параметры газового потока на входе в КУ (расход, температура). Хотя некоторое повышение температуры уходящих газов может улучшить теплосъём в испарительных поверхностях КУ, суммарный энергетический эффект для ПГУ определяется соотношением потерь мощности ГТУ и прироста (или снижения) мощности ПТУ. Оптимальное значение гидравлического сопротивления КУ существует как компромисс между эффективностью ГТУ и полной утилизацией тепла.

### **Библиографический список**

1. Беляков, И. И. Анализ гидравлических режимов вертикальных котлов-утилизаторов парогазовых установок.
2. Балакин, А. Ю. Влияние противодействия на коэффициент расхода дросселирующих диафрагм.
3. О влиянии противодействия на работу турбины. [Электронный ресурс]— URL:<https://mashxl.info/page/228227188047213068191096140137118049072014149061/>

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

## **МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ КОНДЕНСАТОРОВ ТУРБИН АЭС ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОРСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ**

Конденсаторы турбин атомных электростанций, использующие для охлаждения морскую воду подвержены интенсивному коррозионному износу и биообрастаниям. Сквозные поражения трубок конденсаторов приводят к присосам охлаждающей воды в паровое пространство, что вызывает ухудшение водно-химического режима контура многократной принудительной циркуляции и требует внеплановых разгрузок турбоустановки для поиска и глушения дефектных трубок.

Интенсивность коррозионных повреждений трубок конденсаторов требует поиска эффективных методов защиты.

Одним из перспективных направлений повышения надежности конденсаторов является применение защитных покрытий внутренних поверхностей трубных пучков [1].

Для предотвращения биообрастаний трубок конденсаторов могут быть использованы реагентные методы с подачей биоцидов, диспергируемых сжатым воздухом [2]. Однако экологические ограничения на сброс реагентов требуют оценки воздействия на окружающую среду.

Также себя зарекомендовал метод термической сушки конденсатора [3], во время которой, одна из половин конденсатора отключается по циркуляционной воде. Что приводит к повышению температуры трубок до 40-60 °С и гибели большинства микроорганизмов.

Таким образом, для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации конденсаторов турбин АЭС в условиях использования морской циркуляционной воды необходимо применение комплекса защитных мер, включающего как пассивные методы (защитные покрытия, коррозионностойкие материалы), так и активные (обработка охлаждающей воды).

### **Библиографический список**

1. Способ защиты от коррозии внутренних поверхностей теплообменного оборудования: пат. 2292140 Рос. Федерация / В.П. Семенов, А.И. Громов. – опубл. 27.01.2007.
2. Способ защиты теплообменной поверхности заборного охладителя от обрастания: пат. 2647400 Рос. Федерация: МПК В63В59/04 / А.В. Смирнов [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КГТУ». – № 2016146392; заявл. 25.11.2016; опубл. 15.03.2018, Бюл. № 8. – 8 с.
3. Способ очистки трубок конденсаторной установки турбоагрегата: пат. 2000125595/12 Рос. Федерация / Л.В. Шамаков, Л.Е. Самусев. – опубл. 20.04.2002.

*Д.А. Сорокин, студ.; рук. А.В. Игнатьев, нач. отдела («АО «Зарубежэнергопроект», г. Иваново), К.Н. Туманова, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОПОРАМ ТРУБОПРОВОДОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Опоры трубопроводов играют важную роль в обеспечении стабильности и безопасности трубопроводной системы. Они поддерживают и удерживают трубопроводы в нужном положении, компенсируют нагрузки и вибрации. Однако при проектировании опор для трубопроводов могут возникнуть различные проблемы, которые требуют внимания и решения.

Одной из распространенных проблем являются динамические нагрузки. Трубопроводы могут подвергаться вибрациям, ударам или колебаниям, которые могут оказывать влияние на опоры. В результате возникают дополнительные напряжения и риски для стабильности и прочности опор.

Неправильная установка и несоответствие фундаментов также являются частыми проблемами при эксплуатации опор для трубопроводов.

Неправильно установленные опоры или фундаменты могут привести к деформациям, перекосам и потере стабильности всей системы.

Обеспечение надежности и долговечности опор для трубопроводов является ключевым аспектом успешной работы системы.

С применением правильных подходов к эксплуатации, обслуживанию и ремонту опор, можно создать безопасную и эффективную инфраструктуру трубопроводов, способную справиться с различными условиями эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. Основные проблемы и их решения при эксплуатации опор для трубопроводов. //ООО"ЛМЗ"—URL: [https://oporamet.ru/articles/osnovnye\\_problemy\\_i\\_ih\\_resheniya\\_pri\\_ekspluatcii\\_opor\\_dlya\\_truboprovodov](https://oporamet.ru/articles/osnovnye_problemy_i_ih_resheniya_pri_ekspluatcii_opor_dlya_truboprovodov) (дата обращения: 05.04.2026)
2. Зарубежэнергопроект : — URL: <https://zep.ru/> (дата обращения: 05.04.2026).
3. СНиП 2.03.01-84\* Бетонные и железобетонные конструкции (с Изменениями N 1, 2). — : Официальное издание /Минстрой России - М.: ГП ЦПП, 1995 год. — 83 с.

*Н.И. Морковников, студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ-АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗНОСА И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Мониторинг в реальном времени — это «нервная система». Датчики (вибрация, температура, ток) непрерывно передают данные на в систему АСУ ТП энергооборудования или в ЦОД. Это позволяет отказаться от планово-предупредительных ремонтов по календарю и перейти к обслуживанию по фактическому состоянию.

Главный эффект — мгновенное обнаружение аномалий: перегрев подшипника или рост вибрации фиксируются за секунды до критического отказа.

Использование ИИ-алгоритмов позволяют прогнозировать будущее развитие ситуации. Машинное обучение анализирует исторические тренды и текущие отклонения. Нейросети выделяют микропризнаки износа, незаметные для оператора.

Итог — ИИ за 100–300 моточасов предсказывает остаточный ресурс узла (RUL) и рекомендует оптимальный режим работы. Например, снижение нагрузки на 10% может продлить жизнь детали в два раза без потери производительности.

Цифровые двойники проверяют гипотезы, Точная 3D-модель узла проигрывает сценарии: «Что будет, если снизить обороты на 5%?» или «Как изменится износ при новом графике технического обслуживания?». Это заменяет дорогие физические испытания. Система получает обратную связь: двойник подтверждает или опровергает рекомендации ИИ до их применения на реальном оборудовании.

Таким образом, получается прогноз до аварии, оптимальный режим без риска и проверку в виртуальной среде. Затраты на внедрение окупаются снижением внеплановых простоев на 40–60% и увеличением межремонтного пробега в 1.5–2 раза.

### **Библиографический список**

1. Обзор AI + Digital Twin для предиктивной аналитики: A Literature Review: Application of AI for Predictive Maintenance in Digital Twins Across Various Industries (Ben Hnaïen et al., 2025)
2. Технологии ИИ в диагностике: Artificial Intelligence Techniques With Digital Twin for Fault Diagnosis in Interconnected Systems (Nakti et al., 2025)

М.В. Масьтрукова, студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИЗУЧЕНИЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Освоение нового лабораторного стенда «Лабораторная установка по изучению измерительных приборов температуры, давления и расходов» лаборатории «Механики жидкостей и газов» начато в 2025/2026 уч. г. В рамках лабораторных работ предложено изучить конструкцию, принцип действия различных приборов для измерения давления в газовых и жидких средах, а также оценить погрешность измерения тем или иным способом.

Стенд разделен на гидравлическую и воздушную части. Соответственно оснащен приборами измерения давления: - стрелочные деформационные манометры, датчик давления деформационного мембранного типа, датчик давления пьезометрического типа, дифференциальный «U»-образный манометр (рисунок. 1).

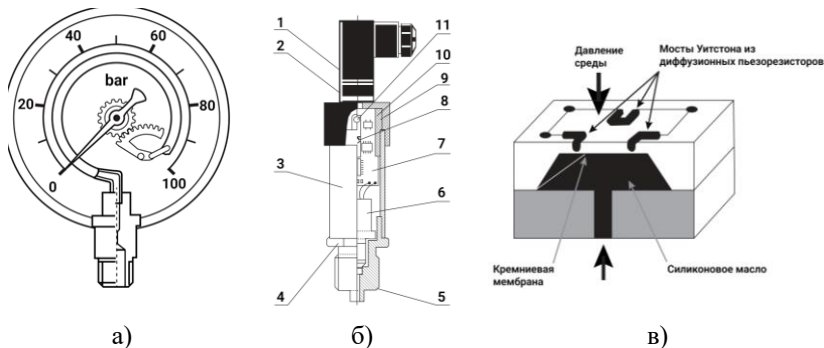


Рисунок 1. Приборы измерений стенда: а- стрелочный деформационный манометр, б – датчик давления деформационного мембранного типа, датчик давления пьезорезистивного типа

### Библиографический список

1. Григорьев Е.Ю. Лабораторная установка по изучению измерительных приборов температуры, давления и расхода // Е.Ю. Григорьев, В.А.Буданов, А.И. Киселев, А.В. Виноградов// Метод. указ. ФГБОУВО УИУНЛ ИГЭУ – 2025- 56 с

О.Р. Яшина, студ.; рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ОПЫТ ОСВОЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ПО ИЗУЧЕНИЮ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Лабораторный стенд «Лабораторная установка по изучению измерительных приборов температуры, давления и расхода» приобретен ИГЭУ в рамках дорожной карты развития вуза с АО «Концерн Росэнергоатом». Лабораторный стенд с 2025/2026 уч. года применяется при проведении лабораторных работ в рамках дисциплины «Метрология стандартизация, сертификация и методы и средства измерений».

Стенд представляет собой две составные части гидравлическую и воздушную для изучения приборов измерений для различных рабочих сред (рисунок. 1).

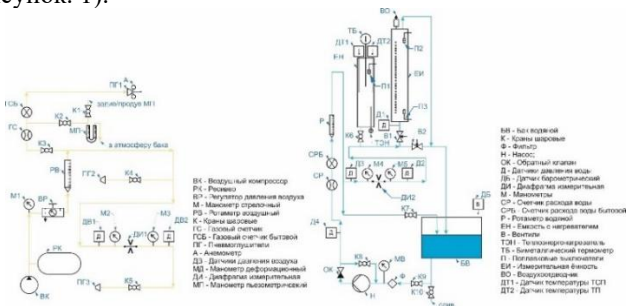


Рисунок 1. Принципиальная схема лабораторного стенда

В рамках лабораторной работы по изучению приборов для измерения расхода рабочей среды проведено измерение расхода с помощью ротаметра, счетчика расхода газа, воды, измерительной диафрагмы. Получены характеристики абсолютной и относительной погрешностей измеряемых приборов

### Библиографический список

1. Григорьев Е.Ю. Лабораторная установка по изучению измерительных приборов температуры, давления и расхода // Е.Ю. Григорьев, В.А.Буданов, А.И. Киселев, А.В. Виноградов // Метод. указ. ФГБОУВО УИУНЛ ИГЭУ – 2025- 56 с

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

## **ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Применение керамических матричных композитов (СМС) и термобарьерных покрытий (ТБП) нового поколения в конструкции газовых турбин открывает новые возможности для повышения эффективности и надёжности энергетического оборудования.

Благодаря этим материалам удаётся повысить рабочую температуру газов перед турбиной с 1100-1200°C до 1300-1400 °С, что увеличивает КПД установки на 3-5%. Дополнительно КПД цикла Брайтона растёт на 1-2 % за счёт снижения потребности в охлаждении лопаток: требуется меньше охлаждающего воздуха, отбираемого из компрессора. ТБП на основе  $ZrO_2$  с добавками  $Y_2O_3$  и гафната лантана уменьшают термические напряжения и защищают металл от окисления, благодаря чему ресурс лопаток увеличивается в 2-3 раза. При этом СМС в 3-4 раза легче никелевых сплавов при сопоставимой прочности на высоких температурах — это снижает инерционные нагрузки и позволяет увеличить скорость вращения ротора.

Устойчивость новых материалов к термическим ударам повышает манёвренность энергоблока — это особенно важно при интеграции с возобновляемыми источниками энергии. Экономический и экологический эффект также значителен: для турбины мощностью 200 МВт достигается экономия порядка 6-10 МВт - то есть дополнительная выработка электроэнергии без увеличения расхода топлива. При росте КПД с 40% до 43% выбросы  $CO_2$  сокращаются на 7-8%, что соответствует целям декарбонизации.

Продление срока службы лопаток снижает частоту дорогостоящих ремонтов, экономя миллионы долларов за жизненный цикл оборудования. Поскольку никелевые суперсплавы достигли своего температурного предела (~1150°C), СМС и новые ТБП становятся единственным путём дальнейшего роста температуры и КПД без радикального изменения конструкции.

### **Библиографический список**

1. Современные и перспективные материалы для термобарьерных покрытий (Р. А. Шишкин, УФН, 2025).
2. Обзор современных способов формирования термобарьерных покрытий (А. Ф. Медников, К. С. Медведев, Г. В. Качалин и др., «Глобальная энергия», 2023)

*В.А. Малеев, студ.; рук. А.И. Киселев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РЕСУРС ЛОПАТОК ПЕРВЫХ СТУПЕНЕЙ КАК ОГРАНИЧИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ГТУ**

В современных энергетических ГТД температура газа перед сопловым аппаратом первой ступени достигает 1350–1600 °С, а за ним (с учётом охлаждающего воздуха) — 1200–1430 °С. При этом на рабочие лопатки действуют высокие растягивающие напряжения от центробежных сил (гораздо больше, чем в паровых турбинах, из-за больших расходов газа и диаметров первых ступеней), а также высокие изгибающие напряжения от окружных усилий, поскольку вся мощность вырабатывается 3–5 ступенями. Также возникают стационарные температурные напряжения из-за неравномерного нагрева профиля (кромки тоньше, теплоотдача выше, есть охлаждающие каналы). Постоянное действие этих напряжений при высокой температуре приводит к исчерпанию длительной прочности: в кромке лопатки возникает трещина, она растёт, и при критическом размере происходит хрупкий отрыв. По данным фирмы GE Energy, при сроке службы 100 тыс. часов и реальных напряжениях 140–150 МПа допустимая температура материала лопатки составляет всего 840–860 °С, тогда как температура газа на входе в первый венец — 1200–1450 °С. Поэтому лопатки первых двух ступеней снабжают термобарьерными покрытиями (снижение на 250–300 °С), но этого недостаточно и поэтому почти все венцы (кроме последнего) имеют охлаждение.

Продукты сгорания топлива, поступающие из камеры сгорания в проточную часть газовой турбины, являются агрессивным рабочим телом, вызывающим коррозию облопачивания. Различают три вида: высокотемпературную (815–930 °С) из-за сульфатов натрия и калия; низкотемпературную (590–760 °С) от оксидов серы; высокотемпературное окисление (>900 °С) из-за избытка воздуха. Со всеми видами коррозионных повреждений имеются два способа борьбы: - уменьшение содержания потенциально агрессивных элементов в топливе и цикловом воздухе;

- термобарьерные покрытия, одним из назначений которых является предупреждение коррозионных повреждений.

При пусках и остановах возникают циклические температурные напряжения, ведущие к термической усталости, а при резонансе с возмущающими силами — к многоцикловой усталости (>10<sup>6</sup> циклов). В итоге именно первая ступень ГТ определяет допустимое проходное сечение на входе и, следовательно, предельную мощность ГТУ. В этом отличие от паровой турбины, где мощность диктуется последней ступенью.

### **Библиографический список**

1. Трухний, А. Д. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие / А. Д. Трухний. — Москва : МЭИ, 2013. — 648 с.

*А.Л. Моторин, студ.; рук. А.В. Игнатъев, нач. отдела («АО «Зарубежэнергопроект», г. Иваново); А.Л. Виноградов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ**

Отсутствие или деградация теплоизоляционного слоя на магистральных и распределительных трубопроводах приводит к возникновению термодинамически необратимых потерь, достигающих 15–40% от объема транспортируемого тепла.

Помимо прямого перерасхода топлива, это провоцирует снижение температуры теплоносителя ниже точки росы дымовых газов (в обратных линиях), ускоряя низкотемпературную коррозию металла и снижая общий КПД системы теплоснабжения.

На основе решения уравнения Фурье для многослойной цилиндрической стенки и последующего дифференциального исчисления затрат определено существование критической толщины изоляции. Превышение этого параметра, вопреки распространенному заблуждению, не приводит к перегреву изолируемой поверхности (как в случае с плоской стенкой), а продолжает снижать тепловой поток, однако с убывающей экономической отдачей.

Установлено, что для сетей центрального отопления экономически целесообразная толщина на 15-20% превышает нормативную санитарную (для предотвращения ожогов).

Методом расчета жизненного цикла (LCA) показано, что утилизация 1 Гкал тепла, потерянного через неизолированную трубу в отопительный период, эквивалентна эмиссии ~190–210 кг CO<sub>2</sub> (при газовой генерации).

Модернизация изоляции на участке магистрали протяженностью 1 км с условным диаметром 500 мм позволяет сократить выбросы на величину, сопоставимую с посадкой 2,5 га леса ежегодно.

### **Библиографический список**

1. Рыжкин В.Я. «Тепловые электрические станции». Москва: Энергоатомиздат, 1987.
2. Дубровский В.Б., Лавданский П.А., Енговатов И.А. «Строительство атомных электростанций». Москва: АСВ, 2010.

*П.А. Губернаторова, студ.; рук. К.Н. Туманова ст. преп.,  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

Газотурбинные установки (ГТУ) широко применяются в современной энергетике благодаря высокой маневренности, компактности и возможности быстрого ввода в работу. Однако их эффективность существенно зависит от параметров окружающей среды, в первую очередь — температуры воздуха на входе в компрессор.

Номинальные характеристики ГТУ, как правило, определяются при температуре наружного воздуха +15 °С. При отклонении от данного значения происходит изменение плотности воздуха, что влияет на массовый расход через компрессор и, соответственно, на мощность установки.

При повышении температуры воздуха его плотность снижается, что приводит к уменьшению массового расхода и снижению мощности ГТУ. В летний период это может привести к падению мощности на 10–20 % по сравнению с номинальной. Одновременно снижается и коэффициент полезного действия установки.

Для компенсации негативного влияния температуры применяются различные технические решения. Одним из наиболее распространённых является охлаждение воздуха на входе в компрессор с помощью испарительных охладителей. Также используются холодильные машины, позволяющие поддерживать оптимальную температуру воздуха независимо от климатических условий.

Другим методом является подогрев воздуха в зимний период для предотвращения образования льда. Это осуществляется за счёт отбора части горячего воздуха из компрессора или использования внешних источников тепла.

Таким образом, регулирование температуры воздуха на входе в компрессор является важным фактором повышения эффективности и надёжности работы газотурбинной установки. Применение современных систем охлаждения и подогрева позволяет значительно расширить диапазон устойчивой работы ГТУ и повысить её экономические показатели.

### **Библиографический список**

1. Цанев С.В. Газотурбинные энергетические установки. – М.: МЭИ, 2011.
2. Култышев А.Ю. Парогазовые установки электростанций. – СПб.: Политех-Пресс, 2022.

*А.В. Шмигельский, студ.; рук. А.В. Игнатъев, нач. отдела  
 («АО «Зарубежэнергопроект», г. Иваново);  
 А.Л. Виноградов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЛИЯНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ДЕМПФЕРОВ НА ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО КРЕПЛЕНИЮ ТРУБОПРОВОДОВ ТЭС ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

Проектирование опорно-подвесной системы главных паропроводов ТЭС требует одновременного выполнения двух условий. Во-первых, трасса должна беспрепятственно удлиняться при нагреве до рабочих температур (до 280 мм при  $t = 545\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Во-вторых, сохранять устойчивость при кратковременных интенсивных воздействиях: сейсмических толчках, гидроударах или реактивных усилиях от срабатывания предохранительных клапанов. Пружинные блоки постоянного усилия решают только задачу компенсации веса, но не гасят энергию удара. Жесткие направляющие опоры ограничивают тепловое расширение и создают дополнительные напряжения в штуцерах оборудования.

Гидравлический демпфер по-разному реагирует на медленные и быстрые перемещения. При температурных расширениях ( $v < 0,1\text{ мм/с}$ ) масло свободно перетекает через дроссель — сопротивление отсутствует. При резком рывке ( $v > 1\text{ м/с}$ ), вызванном сейсмическим толчком или реактивной отдачей струи пара, клапан захлопывается, и устройство на 1–3 с превращается в жесткий стержень, фиксирующий трубу относительно каркаса здания.

Применение гидродемпферов позволяет снизить пиковые горизонтальные усилия на строительные конструкции главного корпуса при сейсмических и ударных воздействиях на 40–60 % по сравнению со схемами без гасящих устройств.

Снижение динамической нагрузки даёт возможность отказаться от громоздких П-образных компенсаторов в стесненных условиях машинного зала и уменьшить расчётные сечения колонн этажерки трубопроводов. Для площадок с повышенной сейсмической активностью установка гидродемпферов становится неотъемлемым требованием проекта, а на мощных энергоблоках СКД и ПГУ — средством повышения эксплуатационной надёжности.

Экономический эффект достигается за счёт предотвращения вынужденных остановов блока, связанных с обрывом подвесок, расцентровкой трассы и повреждением сварных соединений при ударных воздействиях.

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

## **ВЫБОР СХЕМЫ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА**

Котлы-утилизаторы играют ключевую роль в современных энергетических системах, позволяя эффективно использовать вторичные энергоресурсы, такие как тепло отходящих газов промышленных установок, двигателей внутреннего сгорания или газовых турбин.

Основные схемы котлов-утилизаторов можно разделить на несколько типов: одноконтурные, двухконтурные и многоконтурные [1]. Одноконтурные схемы наиболее просты в реализации и обслуживании, но имеют ограниченную гибкость в регулировании параметров теплоносителя. Двухконтурные и многоконтурные схемы позволяют более точно управлять процессом теплообмена, что особенно важно при работе с источниками тепла с переменными параметрами, такими как газы от газотурбинных установок.

При выборе схемы котла-утилизатора необходимо учитывать следующие основные критерии:

- характеристики источника тепла: температура и состав отходящих газов, их объемный расход и стабильность параметров.
- требования к вырабатываемой энергии: необходимость производства пара, горячей воды или комбинированного выхода, а также требуемые параметры (давление, температура).

В зависимости от конкретных условий эксплуатации может быть выбрана схема с естественной или принудительной циркуляцией теплоносителя, а также с различными типами теплообменных поверхностей (трубчатые, пластинчатые и др.). Например, для газотурбинных установок часто применяются двухконтурные схемы, где первый контур работает на высокотемпературных газах, а второй — на более низких температурах, что позволяет повысить общий КПД парогазовой установки. В материалах доклада представлено сравнение различных типов котлов-утилизаторов парогазовых установок.

В заключение, выбор схемы котла-утилизатора должен основываться на комплексном анализе технических, экономических и экологических факторов. Правильно подобранная схема не только обеспечит эффективное использование вторичных энергоресурсов, но и снизит эксплуатационные затраты, что сделает проект экономически выгодным и экологически устойчивым.

### **Библиографический список**

1. Трухний, А. Д. Парогазовые установки электростанций: учебное пособие / А. Д. Трухний. — Москва : МЭИ, 2013. — 648 с.

*Д.В. Суворов, студ.; рук. К.Н. Туманова ст. преп.,  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ**

Номинальная частота вращения ротора газотурбинной установки (ГТУ) соответствует синхронной частоте сети (50 Гц) при номинальной нагрузке. Однако в реальных условиях эксплуатации происходят постоянные колебания потребляемой мощности, что вызывает отклонения частоты вращения и ухудшает качество электроэнергии.

При резком сбросе нагрузки возможно возникновение разгона ротора (выбег) с превышением допустимых оборотов, что активирует систему аварийной защиты. Для предотвращения этого используются быстродействующие системы регулирования топливного газа.

Система автоматического регулирования (САР) частоты вращения воздействует на топливный регулирующий клапан. При увеличении частоты вращения выше заданного диапазона (например,  $>101,5\%$  от номинала) САР уменьшает подачу газа в камеру сгорания. При снижении частоты (например,  $<98,5\%$ ) — увеличивает подачу.

Также для повышения маневренности ГТУ при переменных нагрузках применяют байпасные схемы перепуска части воздуха из-за компрессора в выходной тракт (антипомпажные клапаны). Это позволяет избежать срыва потока и помпажа компрессора при резком закрытии регулирующего органа.

Для обеспечения устойчивой работы в островном режиме (без связи с общей сетью) используют системы с введением «виртуальной инерции» — дополнительных алгоритмов, имитирующих инерцию синхронного генератора. Это достигается за счёт быстрого изменения крутящего момента турбины по сигналу отклонения частоты.

В различных режимах эксплуатации — от базового до пикового — управление частотой вращения требует индивидуальных настроек ПИД-регуляторов, учёта времени запаздывания подачи топлива и инерционных характеристик ротора. Оптимальные параметры настройки определяются по результатам натурных испытаний.

### **Библиографический список**

1. Соколов В.П., Тарасов А.Н. Регулирование частоты вращения и мощности газотурбинных установок в энергосистемах // Газотурбинные технологии. – 2019. – №4. – С. 24–30.
2. Д.А. Ковалёв, мат.; рук. И.В. Петров, к.т.н., доц. каф. ГТД (МЭИ, г. Москва)

*А.А. Смирнов., студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЖИДКОЙ СРЕДЕ**

Измерение температуры является одной из наиболее распространённых задач в теплоэнергетике и различных технологических процессах.

Точность и быстродействие измерительных преобразователей температуры оказывают существенное влияние на эффективность управления теплотехническими установками и системами автоматического регулирования. В связи с этим исследование характеристик температурных датчиков и особенностей их работы в различных средах является актуальной задачей.

В работе рассматриваются особенности измерения температуры с использованием контактных преобразователей. Основное внимание уделяется исследованию динамических характеристик датчика при его взаимодействии с жидкой средой.

При изменении температуры окружающей среды показания преобразователя устанавливаются не мгновенно, а через определённое время. Это связано с процессом теплообмена между чувствительным элементом датчика и измеряемой средой.

Анализ экспериментальных данных показывает, что процесс установления температуры имеет экспоненциальный характер и описывается переходным процессом первого порядка.

Скорость установления показаний определяется теплофизическими свойствами среды, а также конструктивными особенностями датчика температуры.

Полученные результаты позволяют оценить влияние среды на динамику работы температурного преобразователя и могут быть использованы при выборе средств измерения температуры в теплоэнергетических установках и технологических процессах.

### **Библиографический список**

1. Григорьев Е.Ю. Лабораторная установка по изучению измерительных приборов температуры, давления и расхода // Е.Ю. Григорьев, В.А.Буданов, А.И. Киселев, А.В. Виноградов// Метод. указ. ФГБОУВО УИУНЛ ИГЭУ – 2025- 56 с

*Б.М. Бунга Бенвида студ.; рук. Е.Ю. Григорьев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭНЕРГЕТИКА АНГОЛЫ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА**

Энергетика Анголы представляет собой сложный комплекс, основанный на трёх главных компонентах: нефти, природном газе и гидроэнергетике

Основная часть нефти уходит на азиатские рынки. Крупнейшие покупатели – китайские компании (Sinopec), Indian Oil и Trafigura. Эта геополитическая ориентация подчёркивает растущие связи Анголы с Азией и диверсификацию рынков сбыта.

Добыча газа почти полностью попутная – привязана к нефтяным скважинам, что не позволяет наращивать независимую газовую генерацию.

Ключевой инфраструктурный проект – Angola LNG (с 2013 года перерабатывает до 5,2 млн тонн СПГ в год).

Электрогенерация имеет следующее разделение по видам выработки [1]:

- Гидроэнергетика – 66%
- Тепловая генерация (газ/нефть) – около 30%
- Возобновляемые источники – менее 1%.

Тепловая генерация сохраняет роль балансирующей мощности, особенно в пиковые нагрузки и в регионах, удалённых от крупных ГЭС.

На гидрогенерацию приходится 66% всей вырабатываемой электроэнергии (2023 г.). Ключевые ГЭС: Капанда (520 МВт), Лауа (960 МВт), Камбамбе (входит в число крупных объектов с существенным вкладом в энергобаланс).

Развитие газового сектора в Анголе открывает возможности и для российских компаний, особенно учитывая их опыт в данной отрасли. Об этом заявил Президент Анголы Жоау Мануэла Гонсалвеш Лоуренсу на полях «РЭН 2021».[2]

### **Библиографический список**

1. Энергетический профиль Анголы. <https://www.eeseaec.org/energetika-afrika/energeticeskij-profil-angoly>
2. Статья «Развитие газового сектора в Анголе открывает возможности для российских компаний» . Журнал Энергетика и промышленность России. <https://www.eprussia.ru/news/base/2021/4193094.htm>

*Басс Сенни студ.; рук. А.Л. Виноградов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭНЕРГЕТИКА СУВЕРЕННОГО СЕНЕГАЛА: ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ 2024-2030**

Сенегал начал глубокие преобразования под влиянием Плана развития Сенегала (PSE). Задача состоит в том, чтобы перейти от импортируемой и дорогостоящей энергии к местному, обильному и диверсифицированному производству. К 2030 году страна намерена обеспечить всеобщий доступ к электричеству — серьёзная проблема, учитывая, что уровень электрификации сельских районов по-прежнему составляет не более 60%.

Сенегал официально стал страной-производителем. Нефтяное месторождение Сангомар расположено в 100 км имеет оценочно 630 миллионов баррелей нефти. Газовые месторождения разрабатываются совместно с Мавританией. Газовый проект Grand Tortue Ahmeyim имеет мощность 2,3 миллиона тонн сжиженного газа, первая партия экспортировалась в 2025 году.

Не смотря на наличие углеродного топлива Сенегал активно развивает энергетику на нетрадиционных и возобновляемых источниках. Так доля на ВИЭ составляет около 28 % и к 2030 году должна быть доведена до 40%.

Солнечная энергетика состоит из 10 электростанций. Ветроэнергетика –парк Тайба Дайе имеет мощность 158,7 МВт. В планах так же развитие гидроэнергетики.

Суверенитет Сенегала позволяет проводить политическую линию на развитие своего региона, а также окружающих дружественных стран. Реализация плана развития энергетики 2024-2030 гг позволит Сенегалу электрифицировать страну, излишки электрической энергии будут экспортироваться в Мали, Гамбию, Гвинею. Сочетание «Нефть+Газ+Возобновляемые источники+Суверенитет страны» делают страну моделью энергетической устойчивости в Африке. Такое развитие стало возможным после того, как Сенегал перестал быть колонией- сателлитом капиталистических западноевропейских стран.

### **Библиографический список**

1. Энергетический профиль Сенегала.<https://www.eeseaec.org/energetika-otdelnyh-stran-mira>

# СОДЕРЖАНИЕ

## *Секция 1. Тепловые электрические станции*

<i>Рахимбаев А.Ф., Рахимбоев Ю.Ф.</i> Ультрасверхкритические паровые блоки нового поколения на угле: опыт Китая и перспективы применения в энергетике Узбекистана; <i>рук. Иванова Е.В.</i> .....	4
<i>Калмыков К.С., Кравченко С.О.</i> Функциональная схема УПКМ как основа расчётного моделирования; <i>рук. Аникина И.Д.</i> .....	5
<i>Таран А.В, Сыбатова К.С.</i> Технологическая трансформация теплоэнергетики на основе сверхкритических технологий; <i>рук. Рудченко Г.А.</i> .....	6
<i>Гаврилов В.В.</i> Изменение гидравлических режимов открытых систем централизованного теплоснабжения при подключении потребителей по закрытым схемам ГВС; <i>рук. Владимиров Я.А.</i> .....	7
<i>Грызунов А.А.</i> Разработка функциональной схемы автоматизации, R&ID-диаграммы и спецификации с подбором оборудования для газовоздушного тракта барабанного котла ТГМ-104; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	8
<i>Новожилов М.А.</i> Уменьшение потерь тепла в конденсаторе турбины на ТЭЦ; <i>рук. Зорин М.Ю.</i> .....	9
<i>Фёдоров Д.С.</i> Разработка математической модели ПГУ на основе нормативных энергетических характеристик с двухуровневой идентификацией по данным АСУ ТП; <i>рук. Ледуховский Г.В.</i> .....	10
<i>Веренин А.А.</i> Математическая модель пылесистемы; <i>рук. Шувалов С.И.</i> .....	11
<i>Писанова Е.А.</i> Замена теплообменника системы маслоохлаждения турбины на пластинчатый; <i>рук. Зорин М.Ю.</i> .....	12
<i>Тихонов Д.Е.</i> Пути решения проблемы дефицита тепловой мощности Ново-Иркутской ТЭЦ; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	13

<i>Бутаков Н.А.</i> Реконструкция системы теплоснабжения Березниковской ТЭЦ-2; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	14
<i>Писанова Е.А.</i> Модернизация системы газоохлаждения генератора; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	15
<i>Мурзамуратов О.К.</i> Оптимизация системы оборотного водоснабжения ТЭС на примере расширения Сахалинской ГРЭС-2; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	16
<i>Ключников В.А.</i> Расчетное сравнение эффективности работы паровой турбины с различными типами регулирующих ступеней; <i>рук. Панков С.А.</i> .....	17
<i>Верюгин Д.В.</i> Оценка возможных вариантов расширения и увеличения мощности Алматинской ТЭЦ-3; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	18
<i>Болдырев А.Е.</i> Анализ вариантов тепловой схемы блока 300 МВт Костромской ГРЭС; <i>рук. Зорин М.Ю.</i> .....	19
<i>Манин Н.Т.</i> Особенности перевода паровых котлов с угля на газовое топливо; <i>рук. Зайцева Е.В.</i> .....	20
<i>Коптев А.А.</i> Повышение эффективности работы паротурбинной установки Таврической ТЭС; <i>рук. Панков С.А.</i> .....	21
<i>Рудяков К.С.</i> Оптимизация теплового узла крупного промышленного центра на основе перераспределения тепловых нагрузок; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	22
<i>Журова П.Д., Харитонов В.Д.</i> Сравнительный анализ компоновок ЦНД и тепловой экономичности турбины К-1000-60/3000 на различных АЭС; <i>рук. Панков С.А.</i> .....	23
<i>Одинаев Д.В.</i> Модернизация схемы сбора шлаковых отходов Алматинской ТЭЦ-2; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	24
<i>Мокеев Н.А.</i> Применение сотовых уплотнений в проточной части турбины К-300-240 ЛМЗ Конаковской ГРЭС; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	25

<i>Мокеев Н.А.</i> Система охлаждения выхлопного патрубка паровой турбины ПТ-25-90/10М ТЭЦ-ПВС АО «Тулачермет»; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	26
<i>Солодухин Е.О.</i> Моделирование процессов сепарации в камере испарительной установки мгновенного вскипания (МИУМВ); <i>рук. Кокулин И.А.</i> .....	27
<i>Сергеев Е.А.</i> Определение оптимальной загрузки оборудования станции; <i>рук. Кокулин И.А.</i> .....	28
<i>Ратников М.А.</i> Разработка программного комплекса для детального расчёта ступеней паровой турбины; <i>рук. Кокулин И.А.</i> .....	29
<i>Кокуёв М.Д.</i> Верифицированная модель сепарации капельной влаги в камере испарительной установки мгновенного вскипания (МИУМВ); <i>рук. Кокулин И.А.</i> .....	30
<i>Коротких А.В.</i> Повышение энергоэффективности ТЭС ПАО «ИНТЕР РАО» на основе цифровизации систем мониторинга; <i>рук. Тарасова А.С.</i> .....	31
<i>Ильин А.А.</i> Разработка основных энергетических характеристик блока ПГУ-39 Сочинской ТЭС в конденсационном режиме работы; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	32
<i>Андрианов В.М.</i> Теплогидравлическая модель тракта оборотного охлаждения циркуляционной воды конденсатора с градирней капельного типа; <i>рук. Горшенин С.Д.</i> .....	33
<i>Андрианов В.М.</i> Расчет рабочих точек циркуляционных насосов охлаждающей воды Яйвинской ГРЭС с учетом охлаждающей способности башенной градирни; <i>рук. Горшенин С.Д.</i> .....	34
<i>Курсков И.М., Климов А.И.</i> Модернизация системы автоматического регулирования и защиты турбоустановки К-1200-6,8/3000 Ленинградской АЭС-2; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	35
<i>Мурзамуратов О.К.</i> Альтернативные решения исполнения градирен с учетом изолированности энергорайона островного типа; <i>рук. Барочкин А.Е.</i> .....	36

*Ахмадишин Т.В.* Применение пеллет в энергетике;  
*рук. Зайцева Е.В.*.....37

*Куракин Е.М.* Экологические аспекты использования альтернативного топлива; *рук. Зайцева Е.В.*..... 38

*Ульяров А.А.* Производство пеллет из отходов деревообрабатывающего производства; *рук. Зайцева Е.В.*.....39

*Манина Н.И.* Цифровые двойники: перестроение подходов к управлению тепловыми установками; *рук. Зайцева Е.В.*..... 40

## *Секция 2. Технология воды и топлива. Экология ТЭС и промышленных предприятий*

*Муравьёва М.В.* Анализ сезонных колебаний гидрологических показателей водных ресурсов энергетических объектов Гомельской области 2020–2025 гг.; *рук. Макеева Е.Н.*..... 42

*Фомина В.А., Куделко В.В.* Ресурсная утилизация концентратов и рассолов ТЭС: превращение отходов водоподготовки в топливные ресурсы; *рук. Пантелей Н.В.*..... 44

*Леонкин Я.П.* Требуемые параметры жесткости водных теплоносителей для теплоэнергетических установок;  
*рук. Озеров Н.А., Никитюк Т.В.*.....45

*Ареховская М.А.* Состав и эксплуатационные свойства печного бытового топлива, синтезированного из дизельных дистиллятов вторичной перегонки; *рук. Макеева Е.Н.*..... 46

*Павлинова А.С.* Методика расчета транспорта кальция; *рук. Карпычев Е.А.*..... 47

*Нартя М.С., Русяев В.Н., Ухалова Е.Г.* Результаты оценки и выбора отечественного ингибитора солеотложений для СОО ТЭС; *рук. Ларин А.Б.* ..... 48

<i>Андреев Д.А.</i> Модернизация системы предварительной очистки трапных вод в системах СВО; <i>рук. Карпычев Е.А.</i> .....	49
<i>Малеева А.Е.</i> , Колебательные реакции; <i>рук. Хрипкова Л.Н.</i> .....	50
<i>Проскурнин А.А.</i> Исследование методов обработки исходной воды перед установкой обратного осмоса; <i>рук. Бушуев Е.Н., Бушуева Н.В.</i> .....	51
<i>Проскурнин А.А.</i> «Вечные» химикаты в контурах ТЭС: риски коррозии, теплообмена и методы очистки; <i>рук. Еремина Н.А.</i> .....	52
<i>Ерохин И.М.</i> Проблемы систем спецводоочистки на действующей АЭС; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	53
<i>Жолобова А.Ю.</i> Анализ удельных затрат на ресурсы при обессоливании воды в зависимости от гидравлического КПД УОО; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	54
<i>Шестова А.С.</i> Исследование схемы химического обессоливания с предварительным умягчением методом нанофильтрации; <i>рук. Бушуев Е.Н.</i> .....	55
<i>Зотова К.В.</i> Оценка коррозионной активности первичного конденсата ЦНД ПГУ; <i>рук. Ларин А.Б.</i> .....	56

### *Секция 3. Химия в энергетике*

<i>Кулешов В.В.</i> О применении современной теории управления к моделированию электрохимических процессов; <i>рук. Климова М.А.</i> .....	58
<i>Каблинов Н.М.</i> Потенциал применения свинцово-висмутowego теплоносителя в ядерных энергетических установках гражданского назначения; <i>рук. Иванова Н.Г.</i> .....	59

*Мут А.В.* Воздействие радиации на экологию и человека. Меры сдерживания радиации на АЭС и безопасность ядерных энергетических установок; *рук. Иванова Н.Г.* ..... 60

*Борисов А.В.* Влияние атмосферной коррозии на надежность контактных соединений в системах РЗА; *рук. Ярунина Н.Н.*..... 61

*Бердаков А.М., Анисимов И.И.* Сравнение качества артезианской воды и воды из водопровода г. Иваново; *рук. Хрипкива Л.Н.*..... 62

*Муравьев Н.В.* Химические сенсоры в системах мониторинга энергообъектов: интеграция с устройствами РЗА; *рук. Ярунина Н.Н.* ..... 63

*Бабенкова А.А., Пислегина С.А.* Качество воды в системах теплоснабжения – важное условие их длительного функционирования; *рук. Хрипкива Л.Н.*..... 64

#### *Секция 4. Теоретические основы теплотехники*

*Ратникова В.А., Кошелева Е.В.* Возможности использования программы ELCUT для моделирования тепловых процессов; *рук. Корочкина Е.Е.*..... 66

*Трофимов М.А.* Экспериментальное исследование влияния на теплопроводность водного теплоносителя порошковых и наножидкостных добавок; *рук. Сатаев А.А.* ..... 67

*Бершанская Е., Трунилин Н.А.* Изучение эффекта джоулева нагрева для различных материалов на примере электрической шины; *рук. Корочкина Е.Е.* ..... 68

*Дюльдина А.* Исследование влияния регенерированного моторного масла на теплообмен в насосе гидросистемы экскаватора; *рук. Корочкина Е.Е., Пахотина И.Н.*..... 69

- Милюков М.А.* Компьютерное моделирование работы водоподготовительной установки котельной; *рук. Фоломеева Д.В.* ..... 70
- Сторожун К.А., Голубев С.Р.* Теплообмен при фазовых переходах легкокипящей жидкости ФК-5-1-12; *рук. Соборнов А.Е.* ..... 71
- Смирнов Д.А.* Расчет коэффициента теплоотдачи расплавленных металлов с использованием VBA Excel; *рук. Созинова Т.Е.* ..... 72
- Борцова М.И., Новофамильцев Д.А.* Создание интерактивных видеoinструкций для безопасного проведения работ;  
*рук. Фоломеева Д.В.* ..... 73
- Долинин Д.А., Светушков И.И.* Математическое моделирование микроклимата главного корпуса ТЭС в холодный период;  
*рук. Бухмиров В.В.* ..... 74
- Коняев А.С.* Исследование изменения значений удельной изобарной теплоемкости для идеальных и реальных газов;  
*рук. Бушуев Е.Н.* ..... 75
- Горбунов Н.Д.* Использование Python для выполнения расчетов по технической термодинамике; *рук. Бушуев Е.Н.* ..... 76
- Котков К.Т.* Термодинамический цикл АЭС с ВВЭР-ТОИ;  
*рук. Бушуев Е.Н.* ..... 77
- Лобанов Д.В.* Описание термодинамического модуля цифровой модели турбоагрегата ПТ-80; *рук. Корочкина Е.Е., Блинов О.В.* ..... 78
- Киян П.И.* Использование программы SMath для расчета термодинамических циклов; *рук. Бушуев Е.Н.* ..... 79
- Башлай И.С.* Использование библиотеки CoolProp для нахождения термодинамических параметров воды и водяного пара;  
*рук. Бушуев Е.Н.* ..... 80

- Соколовский А.А., Калинин В.В.* Системы охлаждения воды на основе цикла Майсоценко; *рук. Гаськов А.К.* ..... 81
- Никитин Н.А.* Моделирования теплопередачи парогенерирующих труб в компьютерной программе Elcut; *рук. Бушуев Е.Н.*..... 82
- Подшибякин А.Л., Смирнов Е.М.* Повышение эффективности сепараторов-пароперегревателей АЭС с ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200; *рук. Жолобова А.Ю.* ..... 83
- Сотов Е.Д.* Математическое моделирование теплоотдачи от тёплого подоконника; *рук. Фоломеева Д.В., Пекунова А.В.* ..... 84
- Смирнов Г.Н.* Сравнительный анализ теплоизоляционных материалов с целью уменьшения тепловых потерь; *рук. Созинова Т.Е.* ..... 85
- Блинов А.М., Тарасова Д.А.* Тренинговая платформа для подготовки молодых специалистов; *рук. Фоломеева Д.В.* ..... 86
- Курсков И.М., Салеев П.О.* Выбор тепловой изоляции энергосберегающего вендингового аппарата; *рук. Фоломеева Д.В.* ..... 87
- Чупина А.С.* Определение коэффициента теплоотдачи при пленочном режиме кипения воды методом регулярного режима; *рук. Родионова М.В.* ..... 88

### *Секция 5. Промышленная теплоэнергетика*

- Багаев М.П.* Оценка эффективности интеграции абсорбционного трансформатора теплоты в тепловую схему ТЭЦ; *рук. Козлова М.В.* ..... 90
- Бахтияров С.М.* Требования к тепловой системе в новых строительных стандартах; *рук. Нуриддинов С.Б.*..... 91

<i>Березина Н.С.</i> Обоснование выбора способа увлажнения воздуха в центральном кондиционере; <i>рук. Козлова М.В.</i> .....	92
<i>Березина С.С.</i> Достоинства и недостатки низкотемпературных систем отопления; <i>рук. Банникова С.А.</i> .....	93
<i>Билиджан М.Г.</i> Исследование влияния покрытия отопительных приборов на плотность теплового потока; <i>рук. Безбородов Д.Л.</i> .....	94
<i>Боровская А.В.</i> Сравнительный анализ вариантов использования теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения; <i>рук. Безбородов Д.Л.</i> .....	95
<i>Гордеев С.О.</i> Анализ способов отопления и энергосберегающих мероприятий для фельдшерско-акушерского пункта; <i>рук. Смирнов Н.Н.</i> .....	96
<i>Золн Д.А.</i> Анализ схем утилизации тепла газопоршневой установки на основе органического цикла Ренкина; <i>рук. Васильев С.В.</i> .....	97
<i>Истратов А.В.</i> Тепловизионное обследование ограждающих конструкций и инженерных систем зданий с разработкой мероприятий по повышению энергоэффективности; <i>рук. Сенников В.В.</i> .....	98
<i>Калинин В.Д.</i> Использование информационного моделирования при проектировании систем отопления; <i>рук. Коновалов А.В.</i> .....	99
<i>Киселева А.И.</i> Оценка эффективности эксплуатации паропроводов в нерасчетных режимах. ....	100
<i>Куликова В.А., Смирнов Д.А.</i> Моделирование работы тепловых сетей в межотопительный период; <i>рук. Смирнов Н.Н.</i> .....	101
<i>Мальшева А.С.</i> Моделирование контактного теплообменника с активной насадкой (КТАНа) в MS Excel; <i>рук. Васильев С.В.</i> .....	102

- Миронов М.Ю.* Повышение эффективности системы энергоснабжения центров обработки данных; *рук. Козлова М.В.* ..... 103
- Перехвал П.А.* Сравнительная оценка эффективности многокорпусных выпарных установок при модернизации молочного производства; *рук. Романюк В.Н.* ..... 104
- Перехвал М.Б.* Анализ эффективности и правового регулирования рынка хладагентов в республике Беларусь: поиск эколого-экономического баланса; *рук. Иокова И.Л.* ..... 105
- Птицын М.Д.* Повышение энергетической эффективности Автозаводской ТЭЦ; *рук. Васильев С.В.* ..... 106
- Рудой В.И.* Учет нестационарности при выборе локального теплоутилизатора сточных вод; *рук. Кобылкин М.В.* ..... 107
- Самоловов А.В.* Оценка влияния температуры перегрева рабочего агента на эффективность ОЦР; *рук. Козлова М.В.* ..... 108
- Самуйлов И.С.* Определение средней теплоёмкости в тепловом балансе при неопределённой температуре теплоносителя; *рук. Галковский В.А.* ..... 109
- Семьяшкин Р.Д.* Оценка эффективности применения гелиоопреснительных установок в климатических условиях РФ; *рук. Козлова М.В.* ..... 110
- Семьяшкин Р.Д., Хайдов М.А.* К установлению (пересмотру) тепловой нагрузки системы отопления здания; *рук. Сенников В.В.* ..... 111
- Сергеев Ю.А.* Сравнение вариантов размещения и вида тепловой изоляции для стены; *рук. Смирнов Н.Н.* ..... 112
- Смирнов Д.А.* Модернизация теплообменника аварийного расхолаживания проекта ВВЭР-ТОИ; *рук. Смирнов Н.Н.* ..... 113

- Смирнов Д.А.* Программа расчета действительного числа тарелок в атмосферной ректификационной колонне;  
*рук. Смирнов Н.Н.* ..... 114
- Толчин А.В.* Совершенствование конструкции тепловой изоляции тепловых сетей; *рук. Смирнов Н.Н.* ..... 115
- Фатеев К.А.* Повышение эффективности тепловых сетей на основе гибридного моделирования с применением цифровых двойников и нейронных сетей; *рук. Орехов В.А.* ..... 116
- Худяков Н.М.* Основные направления повышения эффективности работы теплообменного оборудования контуров охлаждения системы управления и защиты энергоблоков Ленинградской АЭС с реакторами РБМК; *рук. Ярунин С.Н.* ..... 117
- Худяков Н.М.* Расчет и анализ циклов теплоэнергетических установок; *рук. Ярунин С.Н.* ..... 118
- Шохин А.А.* Повышение эффективности энергоснабжения от АЭС; *рук. Васильев С.В.* ..... 119

### *Секция 6. Автоматизация технологических процессов*

- Градобоева С.Н.* Радиатор повышенной эффективности;  
*рук. Ковалёва М.С.* ..... 121
- Макаров Г.М.* Возможности повышения эффективности оборудования для формовки кондитерских масс;  
*рук. Миронычева О.И.* ..... 122
- Самусева П.Е.* Разработка автоматизированной линии мясного деликатеса карбонад; *рук Новикова М.А.* ..... 123
- Самусева П.Е.* Влияние автоматизации процесса запекания на органолептические показатели карбонада; *рук. Новикова М.А.* ..... 124

- Лобанов Д.В., Смирнов Д.А.* Разработка мероприятий по модернизации системы регулирования уровня в ТАР для Курской АЭС; *рук. Плетников С.Б., Смирнов Н.Н.* ..... 125
- Кукишев К.В.* Разработка производственной линии сырцовых пряников; *рук. Миронычева О.И.* .....126
- Кукишев К.В., Миронычев О.И.* Обоснование критериев выбора тестомесительной машины для производственной линии; *рук. Тимошенко Л. А* ..... 127
- Лобанов Д.В., Маренков Е.С.* Программное моделирование системы управления; *рук. Пушков В.М., Ставров С.Г.* ..... 128
- Лобанов Д.В., Гаричев А.С., Неробов Е.А.* Структура модели турбоустановки ПТ-80 для стационарного и динамического анализа; *рук. Блинов О.В.* ..... 129
- Сухов Д.В., Айнулов Т.С., Кукушкин И.Н., Дубровина А.С.* Автоматизация резервного питания жилого комплекса; *рук. Блинов О.В.* .....130
- Перевезенцева В.А., Быкова Е.А.* Разработка технологии эмулирования алгоритмов управления теплоэнергетическими процессами; *рук. Блинов О.В.* ..... 131
- Лобанов Д.В., Ильин А.А.* Разработка модели локальной телефонной сети; *рук. Лебедев А.А.* ..... 132
- Кулешов В.В.* О применении современной теории управления к моделированию электрохимических процессов; *рук. Климова М.А.*.....133

### Секция 7. Паровые и газовые турбины

- Зологин В.Г.* Новый подход к оценке термонапряженного состояния охлаждаемых лопаток газовых турбин с учетом реальных условий изготовления и эксплуатации; *рук. Вохмянин С.М.* ..... 135
- Мухаметова Э.С.* Сравнение показателей ГТЭ-160 при работе на метане и МВС; *рук. Трещева М.А.* ..... 136
- Шестаков А.П.* Математическое моделирование каскадной испарительной установки ТЭС; *рук. Григорьев Е.Ю.* ..... 137
- Будаков М.И.* Влияние окружной неравномерности потока воздуха перед компрессором на температурное поле выхлопных газов турбины ГТЭ; *рук. Будаков И.В., Буданов В.А.* ..... 138
- Ятим А.Х.* Отечественный инструментарий как фактор устойчивости и эффективности проектирования энергообъектов;  
*рук. Игнатьев А.В., Григорьев Е.Ю.* ..... 139
- Степанов Д.А., Шестаков А.П.* Математическое моделирование технологического процесса энергоблока; *рук. Григорьев Е.Ю.* ..... 140
- Игнатов Д.С.* Методы повышения экономической эффективности регенеративных воздухоподогревателей ТЭС; *рук. Буданов В.А.* ..... 141
- Ефремов А.П.* Применение искусственного интеллекта при эксплуатации ГТУ; *рук. Киселев А.И.* ..... 142
- Шестаков А. П.* Перспективы использования бездеаэрационных тепловых схем в паротурбинных установках;  
*рук. Григорьев Е.Ю.* ..... 143
- Степанов И.А.* Влияние гидравлического сопротивления котла-утилизатора на совместную работу ГТУ и паровой турбины;  
*рук. Буданов В.А.* ..... 144

- Игнатов Д.С.*, Методы защиты конденсаторов турбин АЭС от негативного воздействия морской циркуляционной воды; рук. *Буданов В.А.* .....145
- Сорокин Д.А.* Требования к опорам трубопроводов энергетических установок; рук. *Игнатьев А.В., Туманова К.Н.* .....146
- Морковников Н.И.* Использование ИИ-алгоритмов для прогнозирования износа и оптимизации режимов работы энергетического оборудования; рук. *Виноградов А.Л.* ..... 147
- Масьтрукова М.В.* Опыт освоения лабораторного стенда по изучению измерительных приборов. Приборы для измерения давления рабочей среды; рук. *Виноградов А.Л.* .....148
- Яшина О.Р.* Опыт освоения лабораторного стенда по изучению измерительных приборов. Приборы для измерения расхода рабочей среды; рук. *Григорьев Е.Ю.* .....149
- Нефедов В.Н.* Применение керамических матричных композитов; рук. *Буданов В.А.* .....150
- Малеев В.А.* Ресурс лопаток первых ступеней как ограничитель мощности ГТУ; рук. *Киселев А.И.* .....151
- Моторин А.Л.* Термодинамическая и экономическая эффективность изоляции трубопроводных систем; рук. *Игнатьев А.В., Виноградов А.Л.* ..... 152
- Губернаторова П.А.* Влияние температуры окружающего воздуха на эффективность газотурбинной установки; рук. *Туманова К.Н.* .....153

- Шмигельский А.В.* Влияние гидравлических демпферов на проектные решения по креплению трубопроводов ТЭС при динамических воздействиях; *рук. Игнатьев А.В., Виноградов А.Л.* ..... 154
- Богатов Д.Н.* Выбор схемы котла-утилизатора; *рук. Буданов В.А.* ..... 155
- Суворов Д.В.* Регулирование частоты вращения ротора газотурбинной установки в условиях переменной нагрузки; *рук. Туманова К.Н.* ..... 156
- Смирнов А.А.* Исследование особенностей измерения температуры в жидкой среде; *рук. Виноградов А.Л.* ..... 157
- Бунга Бенвида Б.М.* Энергетика Анголы: вчера, сегодня, завтра; *рук. Григорьев Е.Ю.* ..... 158
- Басс Сенни.* Энергетика суверенного Сенегала: энергетическая революция 2024-2030; *рук. Виноградов А.Л.* ..... 159

## **ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

**ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
(ТРИНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ЭНЕРГИЯ-2026»**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ  
ТОМ 1**

*Издается в авторской редакции*

Подписано в печать 14.06.2026. Формат 60x84 1/16.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,14  
Тираж электронное издание. Заказ № 112.  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический  
университет им. В.И. Ленина»  
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.