

Ежегодная конференция проводится в память первого ректора КГЭУ – Фореля Закировича Тинчурина (1926–2002).

Тинчурин Форель Закирович – инженер-механик, профессор, в 1952–1976 годах занимался научно-педагогической работой в Казанском авиационном институте. В 1976 году стал проректором Казанского филиала Московского энергетического института, а в 1985 году – его ректором, в этой должности пребывал до 1994 года.

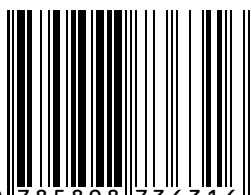
В память талантливого ученого, педагога и организатора высшего образования в Республике Татарстан – Фореля Закировича Тинчурина – заложена традиция проведения ежегодной международной конференции «Тинчуринские чтения».

В 2023 году Казанский государственный энергетический университет отмечает свой юбилей. За 55 лет университет прошел огромный путь и стал одним из крупнейших и авторитетнейших ВУЗов, признанных как в России, так и за рубежом. Воспитано несколько поколений высококлассных специалистов для отрасли, многие из которых стали руководителями предприятий.

На базе университета созданы все условия для успешной подготовки специалистов в области энергетики: специализированные кафедры; множество учебно-научных лабораторий созданных по последним требованиям отрасли; функционирующий процесс тренажер-симулятор, моделирующий работу энергоблока с одним из самых современных и безопасных реакторов; учебный полигон «Подстанция 110/10 кВ»; современные общежития.

По объему и уровню выполняемых научных работ КГЭУ является одним из лучших вузов Российской Федерации.

ISBN 978-5-89873-631-6



9 785898 736316

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Материалы конференции

2



## ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 26-28 апреля 2023 г.)

Материалы конференции

В трех томах

ТОМ 2



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский государственный энергетический университет»**

**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023 «ЭНЕРГЕТИКА И  
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 26-28 апреля 2023 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В трех томах

ТОМ 2

*Под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э. Ю. Абдуллазянова*

Казань 2023

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

М43

Рецензенты:

профессор ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»,  
доктор технических наук, доцент К. В. Сулов;

проректор по РиИ ФГБОУ ВО «КГЭУ»,  
доктор технических наук, доцент И. Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

Э. Ю. Абдуллазянов (гл. редактор); И. Г. Ахметова (зам. гл. редактора),  
Д.А. Ганеева

М43            Международная молодежная научная конференция  
«Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая  
трансформация»: электронный сборник статей по материалам  
конференции: [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2023. – Т. 2. – 915 с.

ISBN 978-5-89873-633-0 (общий)

ISBN 978-5-89873-631-6 (т. 2)

В электронном сборнике представлены статьи по материалам Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло-и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Статьи публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание статей возлагается на авторов.

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

ISBN 978-5-89873-633-0 (общий)

© КГЭУ, 2023

ISBN 978-5-89873-632-3 (т. 2)

# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

## Секция 1. Ядерная, тепловая и электрохимическая энергетика

УДК 621.311

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ УЧЕБНОГО КОРПУСА

Г.И. Акберова

Науч. рук. М.Г. Зиганшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

akberova99@bk.ru

В статье представлена оценка системы теплоснабжения корпуса “Е” КГЭУ, исследование возможности повышения энергоэффективности при централизованной и децентрализованной системах. Определена наиболее выгодная схема кредитования для реализации перехода с централизованной на децентрализованную систему теплоснабжения корпуса “Е” ФГБОУ ВО “КГЭУ”.

**Ключевые слова:** централизованный, теплоснабжения, автономный, децентрализованный.

### EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF DECENTRALIZATION OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM OF THE EDUCATIONAL BUILDING

G.I. Akberova

KSPEU, Kazan, Russia

akberova99@bk.ru

The article presents an assessment of the heat supply system of building “E” of KSPEU, a study of the possibility of increasing energy efficiency with centralized and decentralized systems. The most profitable lending scheme for the implementation of the transition from a centralized to a decentralized heat supply system of building “E” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “KSPEU” has been determined.

**Keywords:** centralized, heat supply, autonomous, decentralized.

Автономные источники в децентрализованной системе теплоснабжения вырабатывают тепловую энергию для теплоснабжения



отдельного здания или группы зданий. Автономные источники энергии тепла обладают меньшей мощностью, чем централизованные источники, но имеют определенные преимущества перед централизованными. Например, возможность полной автоматизации режимов потребления, регулируемость системы вместе с теплоисточником по заданной температуре непосредственно в рабочей зоне, меньшие эксплуатационные затраты на содержание системы (ремонт и заработная плата персонала) [1].

Централизованные источники соответственно мощнее автономных и могут снабжать несколько объектов. Но они требуют большие эффективность их применения за счет потерь тепловой энергии в теплотрассах [2]. При децентрализации системы теплоснабжения также можно обойтись меньшими капитальными вложениями за счет отсутствия тепловых сетей [3].

В корпусе «Е» Казанского Государственного Энергетического Университета в настоящее время предусмотрено централизованное теплоснабжение. Система теплоснабжения водяная двухтрубная со стальными водогазопроводными трубами по ГОСТ 3262-75. Приборы отопления - чугунные радиаторы типа МС-140. Поскольку трубы и приборы отопления находятся в эксплуатации уже более 30 лет, модернизация системы отопления, очевидно, должна иметь место в краткосрочной перспективе [4].

Переключение учебного корпуса с централизованного теплоснабжения на децентрализованное с автономным источником тепла котельной на газовом топливе является более экономичным. Требуемая теплопроизводительность котельной с учетом потерь тепла составляет 0,709 МВт (0,61 Гкал/ч), в том числе: на отопление - 0,505 МВт (0,434 Гкал/ч), на ГВС - 0,072 МВт (0,062 Гкал/ч), на вентиляцию - 0,133 МВт (0,114 Гкал/ч). Расчетный часовой расход газа на предлагаемую котельную составит 104 м<sup>3</sup>/ч. Поэтому к установке в котельной будет достаточно два газовых водогрейных котла RSA-400 отечественного производства с тепловой мощностью по 400 кВт [5].

Между тем реализация данного проекта потребует значительных капиталовложений. Наиболее выгодной в данном случае является лизинговая сделка, так как лизинг оборудования обходится дешевле в сравнении с другими видами кредитования, например, за счет кредитных средств банка [6]. Стоит также учитывать, что в настоящее время существует большое многообразие как кредитных, так и лизинговых продуктов, представленных на рынке [7]. Соответственно, условия могут

варьироваться, и их следует учитывать, оценивая выгодность той или иной сделки.

### **Источники**

1. Ахметова И.Г., Мухаметова Л.Р. Актуальные вопросы повышения энергоэффективности теплоснабжения организаций // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. №11-12. С. 108-113.

2. Стенников В.А., Пеньковский А.В. Рынок тепла: мировой опыт развития централизованного теплоснабжения // Энергетическая политика. 2021. №10 (164). С. 64-75.

3. Наумов А.Л. Тенденции развития теплоснабжения в России // АВОК.2015. №6. С. 208.

4. Акберова Г.И., Зиганшин М.Г. Выбор способов оптимизации источников финансирования для децентрализации теплоснабжения учебного корпуса “Е” КГЭУ // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: сб. тр. VII Национ. науч.-практ. конф. КГЭУ. 2021. С. 259-260.

5. Акберова Г.И., Зиганшин М.Г. Лизинг и кредит как способы финансирования перевода учебного корпуса КГЭУ на децентрализованное теплоснабжение // Энергетика в условиях цифровой трансформации. Наука. Технологии. Инновации: сб. тр. Междунар. Науч.-практ. конф. Волжский МЭИ. 2021. С. 149-153.

6. Гребнева Т.В. Лизинг в РФ: достоинства и недостатки лизинговых операций // Новая наука: Опыт, традиции, инновации. 2020. №3-1 (71). С. 78-81.

7. Тарасова И.А. Финансовый лизинг: практика применения // Символ науки. 2017. №11-1. С. 162-163.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАТНОГО ОСМОСА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ**

Д.В. Аракчеев

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» А.И. Минибаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

xfocus99990075@gmail.com

Обратный осмос является одним из самых перспективных методов для очистки воды. Фильтр может убирать из воды частицы в пределах 0,001-0,0001 мкм (соли жёсткости, сульфаты, нитраты, ионы натрия, малые молекулы, красители).

**Ключевые слова:** вода, обратный осмос, микрофильтрация, ультрафильтрация, питьевая вода.

## **THE USE OF REVERSE OSMOSIS FOR THE PREPARATION OF DRINKING WATER**

D.V. Arakcheev

KSPEU, Kazan, Russia

xfocus99990075@gmail.com

Reverse osmosis is one of the most promising methods for water purification. The filter can remove particles from water within the range of 0.001-0.0001 microns (hardness salts, sulfates, nitrates, sodium ions, small molecules, dyes).

**Keywords:** water, reverse osmosis, microfiltration, ultrafiltration, drinking water.

Обратный осмос – процесс, в котором, при определённом давлении, растворитель (вода) проходит через полупроницаемую мембрану из более концентрированного в менее концентрированный раствор (в противоположном для осмоса направлении), через мембрану проходит растворитель, однако не проходят некоторые растворённые в нем вещества.

В системах промышленного обратного осмоса используют мембраны, которые производят из композитного материала пористой структуры в виде тонкой пленки. Диаметр пор мембран промышленных установок обычно составляет 0,0001 микрон. Через такие поры проходят только молекулы воды. Для повышения качества воды используют

предварительные ступени очистки (механическая очистка и микро-, ультра- или нанофильтрация), избавляющих от более крупных частиц.

Стандартная комплектация установки обратного осмоса состоит из следующих обязательных элементов, представленных на рисунке 1.

Основные сферы деятельности, где применяют промышленный обратный осмос: пищевая промышленность, энергетика, микроэлектроника, химическая промышленность.

Установки низконапорного осмоса обеспечивают давление от 6 атм, высоконапорного – от 15 атм. Для очистки, например, морской воды осмотическое давление должно быть от 45 до 80 атм. На скорость очистки воды влияют также температура воды и концентрация примесей.

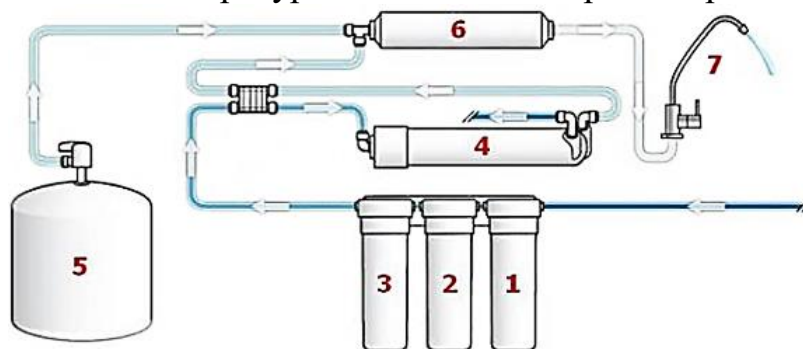


Рис. 1. Схема работы системы фильтрации с помощью обратного осмоса:

1 – предварительный фильтр тонкой очистки, задача которого очистить воду от твердых частиц (до 5 мкм), подготовив к следующей ступени очистки; 2 – угольный картридж; 3 – предварительный фильтр тонкой очистки, задача которого очистить воду от твердых частиц (до 1 мкм), подготовив к следующей ступени очистки; 4 – мембрана обратного осмоса; 5 – накопительный бак; 6 – угольный постфильтр; 7 – кран с отфильтрованной водой.

100 % удалению даже обратноосмотической мембраной могут подвергаться не все примеси. Поэтому привычные нам испытания на удаление солей мембраной осуществлялись по раствору хлорида натрия (поваренной соли). И разумеется, по-видимому осмос на 99 % обеспечивает удаление соли. Однако, когда вода очень жесткая, эффективность может снижаться до 93-95 %, за счет увеличения «проскока» [1-4].

Для очистки воды «из-под крана» с помощью обратного осмоса чаще всего применяют мембраны с селективностью от 97 до 99 %. Их нормируют по хлориду натрия, но это не значит, что так же будет и по другим веществам. Некоторые соединения бора проходят через мембрану

довольно успешно, другие же соединения, например, большие органические молекулы, наоборот, удаляются практически на 100 %.

Отсутствие примесей и так называемых “полезных минералов” в питьевой воде не выдерживает критики в отношении питания. Са практически не усваивается нашим организмом из воды, так как содержится там в виде неорганических солей. Только Mg может хорошо усваиваться из воды.

Колоссальная разница обладает между водой после мембраны обратного осмоса и дистиллированной водой. Растворенные соли обратный осмос не удаляет в полном составе, но в ходе дистилляции именно соли полностью остаются в дистилляционном кубе. С другой стороны, органические летучие вещества в процессе дистилляции перемещаются с паром в дистиллят, в то время как мембрана их неплохо удаляет [5].

Вывод: Мембраны обратного осмоса отличаются тем, что они способны хорошо опреснять воду, для чего они и были созданы.

Бытовые мембраны способны отфильтровывать практически все вредные примеси. Эта способность мембран превышает возможности сорбционных фильтров.

Стоимость литра чистой воды с использованием мембраны немного выше, чем у сорбционного водоочистителя, необходимо сравнивать степень очистки с бутылками из магазина (вода в пластике очищается по той же технологии).

### **Источники**

1. Промышленный обратный осмос [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://biokit.ru/video-instructions/promyshlennyu-obratnyu-osmos/> (дата обращения: 03.03.23 г.).

2. Метод обратного осмоса для очистки воды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://diasel.ru/article/metod-obratnogo-osmosa/> (дата обращения: 03.03.23 г.).

3. Качество питьевой воды в Татарстане [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vodoobmen.ru/kachestvo-vody-v-respublike-tatarstan.html> (дата обращения: 03.03.23 г.).

4. Обратный осмос [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/441376/> (дата обращения: 03.03.23 г.).

5. Недостатки баромембранных методов водоподготовки и способы их устранения в мировой практике / А.А. Филимонова, Э.К. Аракелян, Н.Д. Чичирова [и др.] // Вестник Московского энергетического института.

УДК 621.311

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

И.З. Аскарлов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А. Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ilnazkgeu@mail.ru

Данная статья рассматривает методы повышения мощности теплофикационных турбин. В статье обсуждаются четыре основных метода: увеличение расхода рабочего тела, оптимизация геометрии лопаток, увеличение давления и температуры пара на входе в турбину, а также применение новых материалов. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки, поэтому для достижения оптимального результата необходимо использовать комплексный подход, учитывая все факторы. Результаты исследования могут быть полезны для улучшения эффективности работы турбин и повышения их конкурентоспособности на энергетическом рынке.

**Ключевые слова:** теплофикационная турбина, мощность турбин, энергоэффективность.

## STUDY OF WAYS TO INCREASE THE CAPACITY OF COGENERATION TURBINES

I.Z. Askarov

KSPEU, Kazan, Russia

ilnazkgeu@mail.ru

This paper looks at methods of increasing the capacity of heat extraction turbines. Four main methods are discussed: increasing the flow rate, optimising the blade geometry, increasing the steam pressure and temperature at the turbine inlet, and using new materials. Each method has its advantages and disadvantages, so a comprehensive approach, taking all factors into account, must be used to achieve an optimal result. The results of this research may be useful for improving turbine efficiency and increasing their competitiveness in power market.

**Keywords:** heat extraction turbine, turbine capacity, energy efficiency.

Теплофикационная турбина – это устройство, которое используется для производства электроэнергии и тепловой энергии. Она работает по принципу цикла Ренкина, который включает в себя сжигание топлива и получение перегретого пара в парогенераторе (ПГ), работу пара в турбине и конденсацию отработавшего пара в конденсаторе, а также повышение давления питательной воды в питательном насосе для подачи в ПГ [4].

Повышение мощности турбин является важной задачей в области энергетики и теплотехники. Существует несколько причин, почему необходимо повышать мощность турбин:

- рост потребности в электроэнергии: с увеличением числа населения и развитием промышленности возрастает потребность в электроэнергии. Для удовлетворения этой потребности требуется строительство новых энергоустановок, а также увеличение мощности уже существующих турбин;

- энергоэффективность: повышение мощности турбин может привести к увеличению энергоэффективности производства. Например, увеличение мощности турбины может позволить производить больше электроэнергии и тепловой энергии при том же количестве используемого топлива;

- сокращение выбросов: увеличение мощности турбин может привести к сокращению выбросов вредных веществ в окружающую среду. Например, если увеличить мощность турбины, то можно сократить количество необходимого топлива на единицу произведенной электроэнергии, что позволит снизить выбросы в атмосферу [1].

Метод увеличения расхода рабочего тела – это один из способов повышения мощности турбин, который заключается в увеличении потока рабочего тела через турбину. При использовании этого метода увеличивается количество пара, проходящего через турбину, что приводит к увеличению совершаемой работы пара в турбине, следовательно, к увеличению количества энергии, получаемой в электрогенераторе. В результате увеличивается и мощность турбины. Одним из способов увеличения расхода рабочего тела является увеличение площади входного сечения турбины. Это может быть достигнуто путем изменения формы лопаток или установкой дополнительных лопаток на входе в турбину [2].

Оптимизация геометрии лопаток турбины – это также один из методов повышения эффективности и мощности турбин. Лопатки турбины должны иметь оптимальную геометрию, чтобы обеспечить оптимальное расширение рабочего тела и минимизировать потери энергии.

Оптимизация геометрии лопаток может включать в себя изменение формы лопаток, угла их наклона, ширины и толщины, а также расположения на валу. Цель оптимизации заключается в том, чтобы обеспечить максимальное расширение рабочего тела, минимальное сопротивление потоку и минимальные потери энергии. Для оптимизации геометрии лопаток турбины могут использоваться различные методы, такие как метод конечных элементов, метод оптимизации с помощью генетических алгоритмов, методы оптимизации на основе искусственного интеллекта и др.

Увеличение давления и температуры пара на входе в турбину является еще одним из методов повышения мощности теплофикационных турбин. При увеличении начальных параметров пара увеличивается теплоперепад турбины, что ведет к увеличению мощности турбины [5].

Применение новых материалов. Развитие материаловедения и технологий производства позволяет создавать новые материалы, которые обладают улучшенными механическими и термическими свойствами, что позволяет повысить эффективность работы турбины.

Например, использование новых композитных материалов может привести к снижению веса лопаток турбины и уменьшению трения между лопатками и корпусом турбины, что повысит ее эффективность [3].

В результате исследования были выявлены различные методы повышения мощности теплофикационных турбин, которые могут применяться как индивидуально, так и в комбинации друг с другом.

Увеличение расхода рабочего тела позволяет значительно повысить КПД турбины, что особенно важно в условиях повышенной конкуренции на энергетическом рынке. Оптимизация геометрии лопаток позволяет уменьшить потери на трение и повысить КПД, тогда как увеличение давления и температуры пара позволит увеличить работу пара в турбине, увеличивая тем самым мощность турбины. Применение новых материалов позволяет повысить прочность и температурную стойкость лопаток, что также может увеличить мощность турбины.

### **Источники**

1. Симуляция работы тепловых и газотурбинных установок: Моделирование турбинных двигателей и компрессоров / Ж. Ленуар, Дж. Мэтьюз, Р. Тейлор и др. – М.: Машиностроение, 2010. – 420 с.

2. Ананьев А. А. Анализ проблем и перспектив развития технологии теплоэнергетических установок / А. А. Ананьев, В. И. Шмелев. – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 168 с.



3. Журавлев В. Ю. Теоретические основы проектирования турбин и компрессоров / В. Ю. Журавлев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 444 с.

4. Петренко О. М. Современные технологии повышения мощности теплофикационных установок / О. М. Петренко. – М.: Издательство Московского Энергетического Института, 2018. – 220 с.

5. Расчет принципиальной тепловой схемы теплофикационной турбоустановки: учебно-методическое пособие / сост. А. Ш. Низамова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018.

УДК 621.311

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН ПРИ ПОВЫШЕНИИ НАЧАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ**

Д.Ф. Асянова

Канд. техн. наук, доцент А.Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

asyanovadarina@internet.ru

Данная статья рассматривает изменение энергетической эффективности теплофикационных турбин при повышении начального давления. В статье обсуждаются зависимости параметров пара от повышения начального давления, которые влияют на энергетическую эффективность турбины. Результаты исследования могут быть полезны для улучшения эффективности работы турбин и повышения их конкурентоспособности на энергетическом рынке.

**Ключевые слова:** параметры пара, начальное давление, энергоэффективность, мощность.

# STUDY OF CHANGES IN THE ENERGY EFFICIENCY OF HEATING TURBINES WITH INCREASING THE INITIAL PRESSURE

D.F. Asyanova  
KSPEU, Kazan, Russia  
asyanovadarina@internet.ru

This article considers the change in the energy efficiency of cogeneration turbines with an increase in the initial pressure. The article discusses the dependence of steam parameters on the increase in initial pressure, which affect the energy efficiency of the turbine. The results of the study can be useful for improving the efficiency of turbines and increasing their competitiveness in the energy market.

**Keywords:** steam parameters, initial pressure, energy efficiency, power.

Под начальными параметрами пара понимают давление  $P_0$  и температура  $T_0$  на входе в турбину. Теплофикационные турбины основываются на цикле Ренкина [1].

При повышении давления  $P_0$  до  $P'_0$  возрастает КПД цикла Ренкина. Обусловлено это тем, что возрастает средняя температура подвода теплоты в котле, так как увеличивается температура насыщения  $t_s$ , а также повышением температуры регенеративного подогрева питательной воды.

Исходя из выше сказанного, уменьшаются потери теплоты от необратимого теплообмена при конечной разности температур. Увеличение  $P_0$  приводит к увеличению адиабатного теплоперепада  $H$ . Однако при повышении  $P_0$  плотность пара возрастает, уменьшается удельный объем и высота лопаток, а, следовательно, и объемный расход пара через турбину [2-4].

Кроме того, повышение  $P_0$  приводит к уменьшению степени сухости пара на выходе из турбины  $x_2 < x_1$ , что вызывает эрозию последних ступеней лопаток турбины от работы во влажном паре. При этом возрастают потери из-за протечек через зазоры в турбинной ступени и концевые уплотнения. Это приводит к уменьшению внутреннего относительного КПД  $\eta_{oi}$  турбины.

Если одновременно с повышением давления  $P_0$  увеличить мощность турбины, то этим будет компенсироваться уменьшение удельного объема и величина внутреннего относительного КПД  $\eta_{oi}$  либо не изменится, либо уменьшится незначительно, а увеличение  $\eta$  будет более существенным.

Поскольку рассмотренные выше факторы оказывают неоднозначное влияние на выбор начального давления, оптимальная величина  $P_0$

определяется на основе технико-экономического анализа.

В РФ приняты четыре ступени начального давления пара: 3,4; 8,8; 12,75 и 23,5 МПа. Этих ступеней давления достаточно, чтобы выбрать оптимальные параметры пара для любой мощности турбины. Исключение составляет интервал мощностей 300÷500 МВт, когда преимущества могли бы иметь установки на 16,5 МПа. Установки на  $P_0$  от 17 до 22 МПа практически не применяются, так как в этом интервале давлений (вблизи критической точки) ухудшается теплопередача от стенок поверхностей нагрева котла к воде [5].

В результате исследования выявлены следующие факторы:

- увеличение начального давления пара до уровня примерно 30 МПа приводит к заметному повышению термического КПД цикла Ренкина;

- с ростом  $P_0$  происходит уменьшение внутреннего относительного КПД  $\eta_{oi}$  из-за повышения конечной влажности пара;

- при повышении  $P_0$  плотность пара увеличивается и, следовательно, высота лопаток уменьшается, что ведет к снижению внутреннего относительного КПД  $\eta_{oi}$  вследствие роста относительных потерь, обусловленных проходом пара через зазоры в турбинной ступени (т.е. концевых потерь);

- чем выше  $P_0$ , тем меньше размеры агрегатов (в связи с более высокой плотностью рабочего тела), но металлоемкость оборудования в целом возрастает из-за увеличения толщины стенок (для обеспечения прочности).

### Источники

1. Ананьев А. А. Анализ проблем и перспектив развития технологии теплоэнергетических установок / А. А. Ананьев, В. И. Шмелев. – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 168 с.

2. Андриященко А.И. О показателях эффективности эксплуатации промышленных паротурбинных ТЭЦ. Промышленная энергетика, 2001, № 2. - с. 2-5

3. Баринберг Г.Д. Повышение эффективности теплофикационных турбин на действующих ТЭЦ. Теплоэнергетика, 1997, № 7. - с. 11-15

4. Петренко О. М. Современные технологии повышения мощности теплофикационных установок / О. М. Петренко. – М.: Издательство Московского Энергетического Института, 2018. – 220 с.

5. Расчет принципиальной тепловой схемы теплофикационной турбоустановки: учебно-методическое пособие / сост. А. Ш. Низамова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018.

## МОНТАЖ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ 850 МВт

Р.Р. Ахметова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

2Akhmetova.2016@gmail.com

Данная статья описывает процесс монтажа парогазовой установки мощностью 850 МВт, которая имеет важное значение для энергетической отрасли. В статье рассматриваются подготовительные работы, монтаж фундамента, установка основных узлов парогазовой установки, проведение испытаний и ввод в эксплуатацию. Также подчеркивается необходимость профессионального подхода к монтажным работам и контроля их качества, а также обеспечения безопасности на месте монтажа. Кроме того, приводится пример Заинской ГРЭС, где монтаж такой установки начат в 2020 году, а запуск запланирован на 2024 год.

**Ключевые слова:** монтаж, парогазовая установка, энергетика, технические возможности, безопасность, испытания, эксплуатация.

## INSTALLATION OF A 850 MW COMBINED CYCLE GAS TURBINE

R.R. Akhmetova

KSPEU, Kazan, Russia

2Akhmetova.2016@gmail.com

This article describes the installation process of an 850 MW combined cycle plant, which is important for the power industry. The article covers preparatory work, installation of the foundations, installation of the main components of the combined cycle plant, testing and commissioning. It also highlights the need for a professional approach to installation work and quality control, as well as the need to ensure safety at the installation site. In addition, the example of the Zainskaya TPP is given, where the installation of such a plant has started in 2020, and the start-up is planned for 2024.

**Keywords:** installation, combined cycle plant, energy, technical capability, safety, testing, operation.

Монтаж парогазовой установки является важным этапом в энергетической отрасли и требует профессионального подхода и контроля

качества. Целью работы является описание процесса монтажа парогазовой установки мощностью 850 МВт, включая подготовительные работы, монтаж фундамента, основных узлов и испытания, а также подчеркнуть важность профессионального подхода и контроля качества работ.

Оценка технических возможностей места установки парогазовой установки включает в себя анализ геологических и инженерно-геологических условий, а также выбор оптимальной технологии и размеров установки, учитывая доступность необходимых коммуникаций и линий электропередач. Разработка проекта монтажа парогазовой установки включает выбор оптимального оборудования, учитывая требования к мощности, производительности, безопасности и экономической эффективности. Также, принимаются меры по защите от возможных аварий и соблюдаются правила техники безопасности [1].

Подготовка площадки под фундамент начинается с очистки территории, установки ограждения, маркировки площадки, проведения геодезических работ и укладки грунта. Проектирование и монтаж фундамента парогазовой установки включает выбор оптимальной конструкции фундамента, определение точек крепления и монтаж бетонных конструкций в соответствии с проектной документацией. Контроль качества монтажа фундамента производится проверкой соответствия выполненных работ проектной документации и техническим требованиям, контролем качества бетонных конструкций и соединений, а также проведением испытаний на прочность и устойчивость фундамента [2].

Подготовка и монтаж котельного оборудования включает подключение котлов к коммуникациям, монтаж трубопроводов, установку насосов, клапанов и других узлов, а также проведение монтажных работ на обеспечение безопасной работы котельной. В монтаж турбинного оборудования входит подключение турбин к системе паровой подачи, установка вспомогательного оборудования и генераторов, проведение монтажных работ. Монтаж оборудования системы управления и автоматики включает в себя установку и подключение элементов, необходимых для автоматизации процесса управления технологическим оборудованием. При монтаже оборудования системы управления и автоматики необходимо следить за точным соответствием проектной документации, а также обеспечивать безопасность на рабочем месте. Сборка и монтаж вспомогательного оборудования включает в себя установку и подключение элементов тепловой схемы, таких как насосы, компрессоры, системы вентиляции и кондиционирования, а также

трубопроводов, необходимых для нормального функционирования парогазовой установки. При монтаже вспомогательного оборудования следует учитывать все требования безопасности и соблюдать проектную документацию.

Проведение испытаний парогазовой установки включает проверку ее работоспособности и соответствия техническим требованиям, а также определение ее производительности и эффективности при работе в различных режимах. Подготовка к вводу в эксплуатацию парогазовой установки содержит в себе проверку ее готовности к работе, настройку систем управления и автоматики, а также обучение персонала, который будет заниматься эксплуатацией. Запуском парогазовой установки является проверка ее работоспособности, настройка всех систем и оборудования, а также пуск и отладка в режимах, соответствующих требованиям проекта.

Заинская ГРЭС в России начала модернизацию с постройки парогазовой установки мощностью 850 МВт в 2020 году. Контракт на выполнение работ был заключен между ОАО "Татэнерго" и турецкой компанией Enka в июле 2020 года. Проект использует оборудование компании General Electric, и запуск в эксплуатацию запланирован на 2024 год. Однако, из-за санкций, турецкая компания не может завершить работы, и сейчас ведутся работы нулевого цикла. Над проектом работает высококвалифицированный персонал, и к монтажу парогазовой установки мощностью 850 МВт относятся с особой важностью, так как это существенно повысит эффективность ГРЭС и увеличит производство электроэнергии в России [3].

Монтаж парогазовой установки мощностью 850 МВт позволяет обеспечить потребности в энергии на больших территориях и снизить нагрузку на существующие энергетические объекты. Необходим профессиональный подход к монтажным работам и контроль их качества, чтобы гарантировать безопасность и эффективность работы парогазовой установки, а также минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций и повреждений оборудования.

### **Источники**

1. Хамидулина Г. Х. Расширение Заинской ГРЭС с установкой ПГУ общей установленной мощностью 850 МВт // Электроэнергетика: Семнадцатая всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: материалы конференции. Т. 3. – Иваново: ИГЭУ, 2022. – С. 112.

2. Фатхуллина К. А., Юмаев Р. К. Применение парогазовых установок в Российской Федерации // Тинчуринские чтения – 2021. Т. 2. – Казань: Полиграфическая компания "Астор и Я", 2021. – С. 66-69.

3. Марьин Г. Е., Цветкович А. М. Перспективы внедрения мощных газотурбинных установок в энергосистему Республики Татарстан // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика. Т.2. – Казань: КГЭУ, 2022. – С. 267-270.

УДК 620.93

## **ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА**

Д.А. Базин

Науч. рук. д. техн. наук, доцент А.А. Филимонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rezort12@mail.ru

Использование систем топливных элементов для приложений распределенной генерации представляет собой значимую альтернативу традиционным электростанциям из-за их высокой удельной мощности и потенциала рекуперации тепла во время электрохимической реакции. Гибридная энергетическая система, состоящая из батареи топливных элементов с протонообменной мембраной и органического цикла Ренкина, предлагается для использования отработанного тепла, выделяемого топливным элементом.

**Ключевые слова:** топливный элемент, энергосберегающие технологии, электростанции, рекуперация, протонообменная мембрана, цикл Ренкина.

## **USE OF THE WASTE HEAT OF THE FUEL CELL**

D.A. Bazin

KSPEU, Kazan, Russia

rezort12@mail.ru

The use of fuel cell systems for distributed generation applications is a significant alternative to traditional power plants due to their high-power density and potential for heat recovery during electrochemical reaction. A hybrid energy system consisting of a fuel cell battery with a proton exchange membrane and an organic Rankine cycle is proposed to utilize the waste heat generated by the fuel cell.

**Keywords:** fuel cell, energy-saving technologies, power plants, recovery, proton-exchange membrane, Rankine cycle.

Топливные элементы признаны наиболее перспективной технологией в контексте снижения потребления нефтяных ресурсов и выбросов парниковых газов [1]. Среди нескольких типов топливный элемент с протонообменной мембраной (РЕМ) является наиболее популярным для портативных и стационарных применений благодаря некоторым ключевым преимуществам топливного элемента РЕМ, таким как: низкая рабочая температура, быстрый запуск, способность быстрого реагирования и высокая удельная мощность [2].

Топливный элемент РЕМ производит примерно эквивалентное количество отработанного тепла и электроэнергии в установившихся условиях работы, поэтому его энергоэффективность обычно ограничивается примерно 50–60% [3]. Соответствующие исследования топливных элементов РЕМ были широко изучены в течение последних нескольких лет [4-5]. Чтобы улучшить использование топлива и защитить окружающую среду предлагается гибридная система выработки тепловой и электрической энергии, состоящая из батареи топливных элементов РЕМ и системы на органическом цикле Ренкина для рекуперации отработанного тепла, произведенного в батарее топливных элементов. Параметрический анализ для изучения влияния некоторых ключевых параметров на производительность гибридной энергосистемы проводится на основе стационарной математической модели системы [6].

На рисунке ниже показана принципиальная схема гибридной энергетической системы, использующей органический цикл Ренкина (ОЦР) для рекуперации отходящего тепла от топливного элемента РЕМ. Предлагаемая система состоит из воздушного компрессора, резервуара с  $H_2$ , регулятора давления, увлажнителя, блока топливных элементов с РЕМ, турбины с органическим рабочим телом, конденсатора, насоса и некоторых других сопутствующих компонентов. Блок топливных элементов РЕМ имеет изоляционный слой для предотвращения потери тепла в окружающую среду.



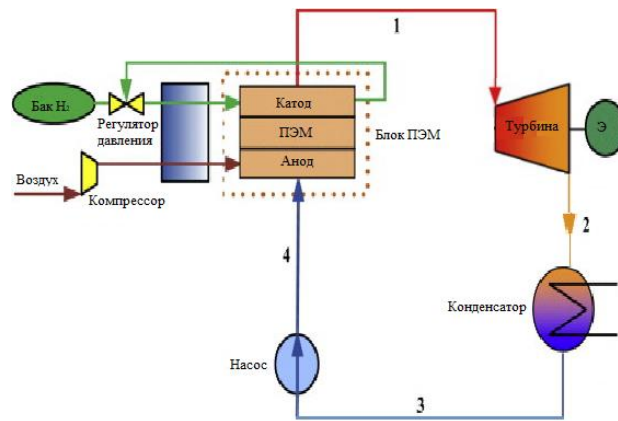


Рис. 1. Схема системы рекуперации тепла в PEM-топливном элементе на основе органического цикла Ренкина.

Из схемы выше видно, что воздух сжимается компрессором до рабочего давления топливного элемента, а затем подается на катод батареи топливных элементов. С другой стороны, из-за того, что водород обычно хранится в цилиндре высокого давления, системе топливных элементов потребуется регулятор давления для снижения давления в цилиндре до его рабочего давления. Затем отрегулированный водород подают на анод батареи топливных элементов. Постоянный ток вырабатывается за счет электрохимической реакции, происходящей в блоке топливных элементов. Кроме того, при электрохимической реакции внутри стека одновременно выделяется большое количество тепла. После завершения реакции непрореагировавший водород из анода возвращается обратно на вход батареи топливных элементов PEM для повторного использования.

Основные выводы, сделанные в ходе настоящего исследования, сводятся к следующему:

- Общий электрический КПД гибридной системы питания может быть увеличен примерно на 5% по сравнению с КПД топливных элементов PEM без системы рекуперации отработанного тепла.
- Увеличение расхода топлива оказывает негативное влияние как на электрический КПД топливного элемента PEM, так и на общий электрический КПД.
- Высокое рабочее давление топливного элемента PEM приводит сначала к увеличению, а затем к снижению как общего электрического КПД, так и электрического КПД топливного элемента PEM, тогда как это может повлиять на полезную выходную мощность нижней системы ОЦР.
- Тепловой КПД системы ОЦР и общий электрический КПД можно улучшить, увеличив давление на входе в турбину или уменьшив

противодавление турбины.

### **Источники**

1. Erdinc O., Uzunoglu M. Recent trends in PEM fuel cell-powered hybrid systems: investigation of application areas, design architectures and energy management approaches / M. Uzunoglu // *Renew Sust Energ Rev.* – 14. – 2010. – pp. 2874-2884.

2. J.C. Chen, X.H. Chen, L.W. Chen, J.C. Guo. An available method exploiting the waste heat in a proton exchange membrane fuel cell system // *Int J Hydrogen Energy.* – 36. – 2011. – pp. 6099-6104.

3. S.G. Kandlikar, Z.J. Lu. Thermal management issues in a PEMFC stack – a brief review of current status // *Appl Therm Eng.* – 29. – 2009. – pp. 1276-1280.

4. J.C. Amphlett, R.M. Baumert, R.F. Mann, B.A. Peppley, P.R. Roberge, T.J. Harris. Performance modeling of the Ballard-Mark-Iv solid polymer electrolyte fuel-cell .1. Mechanistic model development // *J Electrochem Soc.* – 142. – 1995. – pp. 1-8.

5. J.C. Amphlett, R.M. Baumert, R.F. Mann, B.A. Peppley, P.R. Roberge, T.J. Harris. Performance modeling of the Ballard-Mark-Iv Solid polymer electrolyte fuel-cell. 2. Empirical-model development // *J Electrochem Soc.* – 142. – 1995. – pp. 9-15.

6. Pan Zhao, Jiangfeng Wang, Lin Gao, Yiping Dai. Parametric analysis of a hybrid power system using organic Rankine cycle to recover waste heat from proton exchange membrane fuel cell // *International Journal of Hydrogen Energy.* – Volume 37. – Issue 4, 2012. – pp. 3382-3391.

## NUMERICAL STUDIES OF THE AERODYNAMICS OF DISPERSED FLOWS IN MULTICYCLONES

G.I. Belyaeva<sup>1</sup>, M.G. Ziganshin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО "Gazprom Transgaz Kazan", Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup> KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>gulnazka16@mail.ru, <sup>2</sup>mjihhan@mail.ru

In this paper, the effectiveness of the use of a multicyclone filter as part of an integrated air cleaning device (IACD) with elements combining the stages of coarse and fine cleaning is considered. Combining two stages of cleaning in one device will lead to a reduction in the size of the IACD, ease of maintenance and increased reliability.

**Keywords:** integrated cleaning device, gas turbine installation, computational fluid dynamics, multicyclone, turbulence model, cyclone elements.

## ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ ДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ В МУЛЬТИЦИКЛОНАХ

Г.И. Беляева<sup>1</sup>, М.Г. Зиганшин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО "Газпром Трансгаз Казань", Казань, Российская Федерация

<sup>2</sup>КГЭУ, Казань, Россия

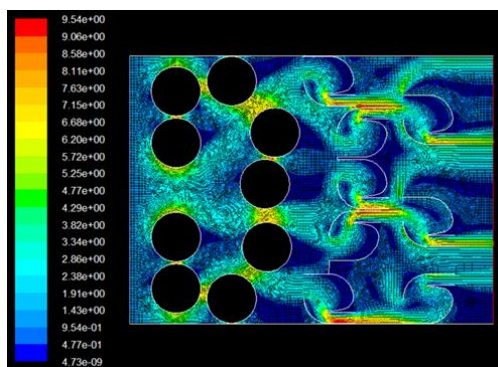
<sup>1</sup>gulnazka16@mail.ru, <sup>2</sup>mjihhan@mail.ru

В данной работе рассмотрена эффективность использования мультициклонного фильтра в составе комплексного воздухоочистительного устройства (КОУ) с элементами, совмещающими стадии грубой и тонкой очистки. Объединение двух стадий очистки в одном устройстве приведет к уменьшению габаритов ИОУВ, простоте обслуживания и повышению надежности.

**Ключевые слова:** интегрированное устройство очистки, газотурбинная установка, вычислительная гидродинамика, мультициклон, модель турбулентности, элементы циклона.

Improving the energy and environmental efficiency of equipment for gas transmission systems, as well as fuel preparation systems at thermal power plants in large cities is an today. The gas turbine or gas pumping units is provided of the inlet cleaning and preparation atmospheric air by an integrated air cleaning device (IACD) [1]. This paper examines the efficiency of using a

multi-cyclone filter as part of an IACD, which combines two stages of purification. In this design, we want to obtain a high degree of cleaning of suspended particles with sizes PM 2.5, PM10, with capture in the first stage the particles from 2.5-5 microns and above due just cyclone elements. The efficiency of the operation of a multi-cyclone can be calculated using methods based on theoretical and experimental data. The most complete and reliable results of the efficiency of multi-cyclones are provided by experimental studies carried out on full-scale (physical) models. However, they can provide comprehensive information then particles with sizes from 0.5 to 2.5 microns at cyclone elements equipped with filters. Much more general results and recommendations can be obtained using mathematical models of hydrodynamic processes. This paper uses Computational Fluid Dynamics (CFD) provides a numerical study with the k- $\epsilon$  turbulence model. Numerical studies of the two-phase flow in a model of the first 2 rows of a serial multi-cyclone TsB-16 of design the LLS "Energostroydetal - Biysk boiler plant", consisting of 16 cyclone elements 245 mm in diameter are carried out. The first phase is air under standard atmospheric conditions, and the second phase is industrial dust [2]. The first row is limited a walls of horizontal rectangular channel wide of 1335 mm and contain a group of semi-snail obstacles with a diameter of 245 mm. The air flow with injected dust particles with sizes from 0.5 to 45 microns enter in the channel at a velocity of 4 m / s. Then one part of the total mass flow of dust particles together with air around the obstacles and leaves the channel. The rest of the flow passes via semi-snail obstacles. While part of the particles is trapped in they and part leaves the channel. The study is carried out under standard conditions. Since the work is aimed at increasing the efficiency of cleaning dispersed flows from suspended particles of the classes PM10, PM2.5, and therefore including of sizes less than 2.5 microns, when choosing the location of the cyclone elements, it is necessary to take into account the trajectories of particles in the flow. In figure, it can be seen that the velocity minima are observed in the shadow areas of cyclone elements, and the maximum value of the flow velocity of 9.54 m/s is reached in the zones between solid circular elements in the first row, which corresponds to previous experiments.



Velocity plots in four rows of a multicyclone

Calculations show the correctness of the method used in the work of replacing the previous row of through semi-cellular elements with solid round elements of the same diameter.

The method presented in the paper for determining the most advantageous location of cyclone elements and their inputs can also be used in studies of other types of battery cyclones conducted to increase the efficiency of precipitation of suspended substances with constant aerodynamic drag of the apparatus.

### References

1. Тимофеева С.С., Хизбуллин А.Р., Мингалиева Г.Р. Оценка возможности применения газоперекачивающего агрегата для транспортировки технологического газа // Вестник КГЭУ.2021. Т. 13, № 4(52). С.76-87.
2. Balestrin E., Decker R. K., Noriler D., Meier H. F. An alternative for the collection of small particles in cyclones: experimental analysis and CFD modeling // Separation and Purification Technology. 2017. P.54-65.

УДК 620.92

## ВОДОРОДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Р.Р. Биктимиров

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Х.В. Гибадуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

oskar.biktimirov@gmail.com

В данной статье рассматривается топливный элемент с протонообменной мембраной, его конструкционные особенности и материалы.

**Ключевые слова:** зеленая энергия, водород, топливный элемент, электрохимические реакции, эффективность.

# HYDROGEN FUEL CELLS

R.R. Biktimirov

KSPEU, Kazan, Russia

oskar.biktimirov@gmail.com

This article discusses a fuel cell with a proton-exchange membrane, its design features and materials.

**Keywords:** green energy, hydrogen, fuel cell, electrochemical reactions, efficiency.

Выбросы парниковых газов являются основной причиной глобального потепления на земле. Основным источником антропогенных выбросов является энергия, выработанная при помощи органического топлива. Парижское соглашение о борьбе с глобальным потеплением, подписанное в 2016 году, требует незамедлительных изменений в структуре мировой энергетики. Важнейшим из направлений для движения энергетики в сторону «зеленой» экономики является переход на новые источники энергии, в первую очередь идет об использовании водорода [1].

Технология водородных топливных элементов обладает потенциалом для того, чтобы заново изобрести автомобили, на которых мы ездим, ракеты, которые мы отправляем в космос, способы транспортировки наших товаров и то, как мы снабжаем энергией города по всему миру.

Топливные элементы функционируют по принципу электролиза с обратными процессами. В связи с этим имеющиеся на сегодняшний день топливные элементы по конструкции соответствуют существующим электролизерам: в них работают и те же материалы и технологии [2].

В водородном топливном элементе в качестве основного источника топлива используется водород, однако для полноценной работы ему так же требуется кислород. Данные топливные элементы вырабатывают электроэнергию с практически нулевым загрязнением окружающей среды, так как при взаимодействии друг с другом водород и кислород образуют воду как побочный продукт реакции. При использовании чистого водорода как основного источника энергии, применяются топливные элементы, не содержащие углерода.

Топливный элемент – это устройство, которое вырабатывает электричество посредством электрохимических окислительно-

восстановительных реакций, а не горения. Они преобразуют химическую энергию топлива, такого как водород или метан, непосредственно в электрическую энергию, объединяя их с кислородом.

На данный момент применяются следующие топливные элементы:

- топливные элементы с протонообменной мембраной;
- твердотельные оксидные топливные элементы;
- топливные элементы на основе расплавленного карбоната;
- щелочные топливные элементы;
- топливные элементы на основе ортофосфорной кислоты.

Топливные элементы с протонообменной мембраной являются более перспективными среди остальных. Их отличительной особенностью являются: высокая плотность энергии и быстрое изменение производительности. Эффективность таких топливных элементов вдвое превосходит привычные нам двигатели внутреннего сгорания, достигают КПД примерно в 70-80%.

Ресурс работы такого элемента составляет 20000 часов в стационарных и 5000 часов в мобильных установках [3].

В добавок к имеющимся преимуществам можно отнести то, что данный топливный элемент имеет довольно низкую рабочую температуру и не имеет углеродного следа после себя, что дает большие возможности в применении данных конструкций.

Материалы данного топливного элемента представляют собой последовательно скомпонованные мембраны и электроды, сжатые при помощи уплотнительных конструкций и тефлоновых прокладок.

Толщина мембран не превышает 1 см. Они плотно прилегают к основной части поверхности электрода. От их контакта зависит величина внутреннего сопротивления топливного элемента. Через специальные пропускные каналы в корпусе происходит подача топлива и окислителя. В качестве катализатора используется платина и палладий, что значительно удорожает конструкцию, но позволяет добиться плотности тока в 300-500 мА/см<sup>2</sup>, при этом величина максимального падения напряжения приблизительно равна 30% [4].

Подробное знакомство с водородом и анализ отдельных топливных элементов помогает нам сделать вывод о том, что данные технологии заслуживают более пристального внимания с нашей стороны, что в дальнейшем будет способствовать их развитию и плавному переходу на «зеленую» энергию.

## Источники

1. Смоленцев А.А., Щербаков А.Н. Создание новейших водородных технологий для наземных транспортных средств: современное состояние и прогноз на будущее // Журнал автомобильных инженеров. 2011. №4 (69). С. 39-41.
2. Филимонова А.А., Чичичров А.А., Чичирова Н.Д., Разакова Р.И. Электрохимические технологии для автомобилей на водородном топливе // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. №2. С. 104-115.
3. Hwang J.J. Review on development and demonstration of hydrogen fuel cell scooters // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. Т.16 №6. С. 3803-3815.
4. Билоненко Р.А. Современное состояние и перспективы развития топливных элементов // Авиационно-космическая техника и технология. 2013. №6. С. 83-93.

УДК 628.542

## КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ТЕРМООБРАБОТКИ ТВЁРДЫХ ОТХОДОВ

Е.С. Валиуллина

Науч. рук. доктор техн. наук профессор М.Г. Зиганшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elizavetazheltukhina@ya.ru

Рассмотрены вопросы образования твердых коммунальных отходов и основные проблемы, связанные с их переработкой. Сжигание становится одним из основных вариантов обработки твердых коммунальных отходов во многих странах с ограниченными земельными ресурсами и высокой плотностью населения. Однако при сжигании в воздушную среду выделяются такие загрязнители, как полихлорированные дибензо-п-диоксины и полихлорированные дибензофураны, которые являются сильными канцерогенами, тератогенами, и обладают мутагенной активностью. Приводятся данные по способам снижения вредных выбросов при сжигании твердых коммунальных отходов.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, мусоросжигательный завод, утилизация, сжигание, производство энергии, углекислый газ, диоксины, фураны.



# CRITICAL ANALYSIS OF THE SOLID WASTE HEAT TREATMENT WAYS

E.S. Valiullina  
KSPEU, Kazan, Russia  
elizavetazheltukhina@ya.ru

The issues of formation of municipal solid waste and the main problems associated with their processing are considered. Incineration is becoming one of the main options for municipal solid waste treatment in many countries with limited land resources and high population densities. However, when burned, pollutants such as polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans are released into the air, which are strong carcinogens, teratogens, and have mutagenic activity. Data are given on ways to reduce harmful emissions from the combustion of municipal solid waste.

**Keywords:** municipal solid waste, incineration plant, recycling, incineration, energy production, carbon dioxide, dioxins, furans.

В мире растет озабоченность по поводу существенного ежегодного прироста твердых коммунальных отходов (ТКО). Так, например, ЕС выделяет предотвращение образования коммунальных отходов как неотъемлемую часть нового пакета по экономике замкнутого цикла, чтобы стимулировать переход Европы к устойчивому развитию и глобальной конкурентоспособности. Поэтому рациональное обращение с ТКО классифицируется как ведущий показатель европейской экологической политики и стратегии «Европа 2020» [1]. Исторически сложилось так, что в странах Центральной и Восточной Европы наиболее крупной категорией отходов являются коммунальные отходы. К сожалению, в России проблема имеет еще большие масштабы.

На сегодняшний день одним из руководящих принципов UNEP является концепция управления отходами, где идеальный вариант – не производить отходы, а наихудший – утилизация отходов без возможности получения вторичного сырья или энергии. Между этими двумя крайностями существует множество вариантов обработки отходов как элементов стратегии обращения с отходами для производства материалов или энергогенерации [2].

Сжигание бытового мусора в качестве твердого топлива в топках парогенераторов «мусорных» ТЭС стало одним из основных вариантов обработки твердых коммунальных отходов ТКО во многих странах. Использование ТКО или отходов древесины в качестве топливной смеси

имеет два основных преимущества: получение энергии от их сжигания и утилизация отходов, которые невозможно повторно использовать или переработать. По этой причине отходы становятся привлекательным ресурсом для производства топлива.

Отдельные исследования по сжиганию ТКО показывают [3], что данный способ производства энергии покрывает потребности более 15% населения. Мощность, вырабатываемая генератором сжигания ТКО, примерно в три раза больше, чем та, которая может быть произведена с помощью биогаза на свалках при той же массе отходов. Однако при трансформации мусора в окислительном режиме образуется ряд серо-, азот- и фосфорсодержащих химических соединений, вплоть до боевых отравляющих веществ и превосходящих последние по токсичности фуранов и диоксинов. Мусоросжигательные установки являются основными источниками поставки полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/Ф) [4] в атмосферу.

Многие исследования по трансформации ПХДД/Ф в процессе сжигания ТКО (напр., [5]) показывают, что образование диоксинов при температуре 900° С в 5-6 раз выше, чем при 1000°С. Кроме того, на образование ПХДД/Ф в дымовых газах влияет и время пребывания в зоне обезвреживания. При увеличении времени пребывания в 2 раза пропорционально уменьшается и концентрация ПХДД/Ф. Считается, что увеличение времени пребывания экологически более эффективно, чем увеличение температуры сжигания, так как в последнем случае существенно увеличивается выброс NO и возрастает регенерация активных форм хлора.

Данные различных исследователей показывают, что образование ПХДД/Ф увеличивается в присутствии Cl, Cu, Pb, Sn, Sb и Zn, но может и уменьшаться в присутствии других элементов, например Ni, Mn, Al, Ti, Si, Cr [6]. Следовательно, имеется возможность термохимического ингибирования образования ПХДД/Ф, для чего требуется детальное изучение кинетики реакций, идущих в высокотемпературной зоне. Однако в настоящее время есть еще много неопределенностей в кинетике образования ПХДД/Ф даже в лабораторных условиях. Есть и множество других не решенных проблем в имеющем глобальное значение направлении исследований по снижению выбросов диоксинов. Решение некоторых задач из этого ряда проблем сейчас стало возможным на основе современных методик численных исследований, реализуемых с использованием программных продуктов Energico + Chemkin Pro, включенных в комплекс ANSYS, и в определенной степени – на основе

отечественного комплекса FlowVision, также содержащего модуль Chemkin.

### **Источники**

1. Schanes K., Dobernig K., Gozet B. Food waste matters: A systematic review of household food waste practices and their policy implications // Journal of Cleaner Production. 2018. V. 182. P. 978–991.

2. Incineration of Municipal Solid Waste: Department for Environment, Food & Rural Affairs. London, 2013, 56 p.

3. Da Silva L.J. de V.B., Santos I.F.S., Mensah J.H.R., Goncalves A.T.T., Barros R.M. Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential // Renewable Energy. 2020. V. 149. P. 1386–1394.

4. Stanmore B.R. The formation of dioxins in combustion systems // Combustion and flame. 2004. V. 136. P. 398–427.

5. Zhang R., Luo Y., Yin, R. Experimental study on dioxin formation in an MSW gasification-combustion process: An attempt for the simultaneous control of dioxins and nitrogen oxides // Waste Management. 2018. V. 82. P. 292–301.

6. Ma Y., Lin X. Li X., Yan J. Evolution of fusion and PCDD/F-signatures of boiler ash from a mechanical grate municipal solid waste incinerator // Chemosphere. 2021. V. 280. P. 130922.

УДК 628.168

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭС**

В.А. Волкова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А. Ю. Власова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

valerijya666@mail.ru

В статье рассматриваются возможность и перспективы применения современных цифровых технологий в процесс водоподготовки на ТЭС. Так же рассматриваются технологии и методы, которые уже используются на теплоэлектростанциях, их механизм работы и возможные достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** подготовка воды, ТЭС, энергетика, фильтрующие материалы.

# THE POSSIBILITY OF USING DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE WATER TREATMENT SYSTEM AT THERMAL POWER PLANTS

V. A. Volkova  
KSPEU, Kazan, Russia  
valerijya666@mail.ru

The article discusses the possibility and prospects of using modern digital technologies in the process of water treatment at thermal power plants. The technologies and methods that are already used at thermal power plants, their mechanism of operation and possible advantages and disadvantages are also considered.

**Keywords:** water treatment, thermal power plants, power engineering, filtering materials.

Ожидается, что в ближайшие 10-15 лет произойдет радикальный скачок в мировом энергетическом секторе, который будет связан с внедрением "Промышленного интернета вещей" (The Industrial Internet of Things — IIoT).

Элементы Интернета вещей в энергетическом секторе включают технологии "цифровая тепловая электростанция", "автоматизированная система управления технологическими процессами" (АСУ ТП), "автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии" (АСКУЭ) и другие, в том числе локальные, системы управления, например, системы автоматического управления (САУ) газовых турбин, систем управления и диагностики энергетического оборудования и т.д. [1].

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами должны быть полномасштабными, то есть объединять все распределенные подсистемы и локальные ПТК (измерение параметров, отображение параметрической информации и состояния органов управления клапанами и механизмами на мониторах, дистанционное управление (ДУ), САУ, автоматика и технологическая защита, сигнализация, автоматический ввод резерва и блокировки) в единое целое на унифицированных элементных и информационных базах [2]. Системы изначально должны быть спроектированы как многофункциональные, охватывающие контроль и управление как тепломеханическим (котел, турбина, вспомогательные механизмы), так и электрическим оборудованием энергоблока. Автоматизированная система управления очисткой воды и водоотведением должна разрабатываться отдельно [3].

Наиболее перспективными технологиями очистки вод низкой минерализации с повышенным содержанием органических примесей, что характерно для поверхностных вод центра и севера России, являются: противоточная ионизация и опреснение на основе мембранных методов. Новые ВПУ, основанные на противоточных технологиях, внедрены на

Калининской АЭС, Дзержинской ТЭЦ, ТЭЦ-ЭВС-2 ОАО "Северсталь" и др. В настоящее время накоплен первый опыт эксплуатации новых установок, частично или полностью оснащенных индивидуальным оборудованием и фильтрующими материалами, которые не всегда учитывают характеристики природных примесей в воде, иногда упрощаются с целью снижения капитальных затрат.

Опыт эксплуатации противоточных технологий доказывает их преимущества по сравнению с традиционными: уменьшение количества необходимого оборудования для очистки воды; высокая обменная способность ионитов; высокое качество фильтрата, которое обеспечивается низкими затратами реагентов на регенерацию – 1,8–2,2 г-экв/г-экв; снижение количество высокоминерализованных сточных вод [4].

Однако из-за отсутствия второй (барьерной) ступени и сложности определения момента выхода на регенерацию противоточный фильтр часто отключается из-за количества воды, пропущенной через него со значительным запасом, что приводит к недостаточной выработке опресненной воды.

Сложная мембранная установка для приготовления глубоко опресненной воды обеспечивает минимальное количество отходов. Отпадает необходимость в кислотно-щелочном земледелии, снижаются эксплуатационные расходы и значительно улучшаются параметры окружающей среды.

Такие установки наиболее подходят для вновь строящихся объектов. Это особенно актуально для труднодоступных районов, где доставка реагентов затруднена. Комплексная мембранная установка успешно эксплуатируется на Первомайской ТЭЦ-14 [5].

Таким образом, на отечественном энергетическом рынке появилось большое количество нового оборудования для очистки воды с высокими экологическими характеристиками. Его широкому внедрению в производство препятствует отсутствие нормативной базы по применению и противоречивый опыт эксплуатации напорных установок на отечественных тепловых электростанциях, особенно для вод с высоким содержанием органических веществ.

### **Источники**

1. Тверской Д.Ю., Тверской Ю.С. Задачи и проблемы совершенствования АСУТП энергоблоков в направлении их интеллектуализации: Сб. докл. IV Всерос. науч. конф. «Управление и информационные технологии». – СПб: ЛЭТИ, 2006. – С. 230–236.

2. Приемы системного анализа и ресурсосберегающие электромембранные технологии при создании малосточной системы водопользования объектов энергетики Республики Татарстан / А. А. Чичиров, А. А. Филимонова, Н. Д. Чичирова, А. И. Минибаев // Известия

высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 3. – С. 66-82. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-3-66-82. – EDN НОВГЖК.

3. Аркадов Г.В., Жукавин А.П., Крошилин А.Е., Паршиков И.А., Соловьев С.Л., Шишов А.В. Виртуально-цифровая АЭС - современный инструмент поддержки жизненного цикла атомных энергоблоков с ВВЭР // Теплоэнергетика. № 10. 2014. С. 3 – 11.

4. А.А. Пантелеев, Б.Е. Рябчиков, А.В. Жадан Проектные решения водоподготовительных установок на основе мембранных технологий // Теплоэнергетика. – 2012. – №7. – С. 30–36.

5. Б.М. Ларин, А.Н. Коротков, М.Ю. Опарин Опыт освоения новых технологий обработки воды на ТЭС // Теплоэнергетика. – 2010. – № 8. С. 8–13. 3.

УДК 662.939

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ФОНТАНИРУЮЩЕГО СЛОЯ**

К.Д. Вьюгова

Науч. рук. доктор техн. наук, доцент М.Г. Зиганшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань,

vjugova.k@yandex.ru

В статье был проведен сравнительный анализ существующих способов сжигания низкосортного угля с внутрицикловой газификацией. Рассмотрены достоинства и недостатки методов с ЦКС. Сделан вывод, о необходимости перехода к конструкциям с ЦКС в фонтанирующем режиме. Проанализированы методы численного моделирования фонтанирующего слоя.

**Ключевые слова:** ЦКС, фонтанирующий слой, численное моделирование.

## **NUMERICAL SIMULATION OF THE HYDRODYNAMICS OF THE SPOUTED BED**

K.D.Vyugova

KSPEU, Kazan

vjugova.k@yandex.ru

In the article a comparative analysis of existing methods of combustion of low-grade coal with intracycle gasification was carried out. Advantages and disadvantages of methods with CFD are considered. The conclusion about the necessity of transition to the designs with CFD in the fountain mode is made. The methods of numerical simulation of the spouting bed are analyzed.

**Keywords:** CFD, spouted bed, numerical simulation.

Совершенствование способов сжигания низкосортных углей в топках энергетических котлов было и остается одним из актуальных направлений в развитии энергетики в целом. В современных условиях роста санитарно-гигиенических требований к чистоте атмосферы наиболее перспективным способом использования низкосортных углей является их предварительная газификация. Наиболее радикальный в данном направлении метод подземной газификации углей был предложен еще Д.И. Менделеевым, однако из-за ряда технико-экономических проблем он пока не получил распространения. Сейчас на практике нашли применение технологии внутрицикловой газификации углей, для реализации которых часто используют способы газификации в циркулирующем кипящем слое (ЦКС).

Отличительной чертой котлов с ЦКС является наличие устройств для улавливания золы и систем возврата материала в топку. Эффективность их работы влияет на большинство показателей котла. Эффективность золоуловителя (в основном это циклоны) обуславливает кратность циркуляции и размер частиц [1]. Однако применение циклонов сопряжено с рядом недостатков, обусловленных работой в зоне высоких температур, а также поступлением горящих газов, ввиду чего нередко возникает прогорание стенок аппарата, что нарушает условия безопасности.

Среди многочисленных методов осуществления контакта между взаимодействующими фазами во многих гетерогенных процессах фонтанирующий слой занимает особое место. Большинство исследователей признают за ним ряд преимуществ. Это отсутствие распределительного устройства; возможность перерабатывать полидисперсные материалы, обрабатывать слипающиеся, агломерирующиеся и спекающиеся материалы и т. п. При этом для многих процессов подчеркивается большая интенсивность работы аппаратов с фонтанирующим слоем по сравнению с установками со стационарным кипящим слоем [2].

Одна из причин, сдерживающих развитие технологий и устройств с фонтанирующим режимом – недостаточная надежность расчетных методов определения режимных параметров, поскольку они получены по результатам испытаний монодисперсных материалов [3]. Отсутствие прозрачных методик, пригодных для проектных расчетов реальных процессов с полидисперсным материалом, приводит к тому, что в редких случаях использования фонтанирования в практике газификации углей работы так и остаются на стадии пилотных разработок, не

использующихся в промышленности (см. например, по [4], разработки 90-х г.г. прошлого века распушенной в 1997 г. British Coal Corporation).

К наиболее существенным гидродинамическим характеристикам фонтанирующего слоя относятся структура слоя, определяющая поле скоростей материала аппарата и перепад давлений газа в слое.

Структура фонтанирующего слоя определяет такую важную его характеристику, как время пребывания частиц материала в слое, а следовательно, и качество получаемого продукта. Для решения данной задачи применяются уравнения движения Навье-Стокса (баланса сил) в проекциях на оси координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , и уравнение неразрывности. Решение системы уравнений в совокупности с уравнением неразрывности позволяет получить поле скоростей и давлений в движущейся среде.

Численное моделирование гидродинамики дисперсного потока подразделяется на движение газового потока и динамику движения частицы, которая требует учета силы тяжести, силы давления, силы сопротивления, а также силу взаимодействия между частицами. Особенно важно учитывать последние, поскольку они занимают доминирующие позиции в описании динамики частиц. Однако в современном моделировании DPM эти уравнения часто заменяются уравнениями, полученными в результате независимого детального прямого численного моделирования (DNS).

Существует два основных подхода к моделированию фонтанирующих слоев: модель дискретных частиц (DPM) и модель двух жидкостей (TFM). Последняя обычно основана на кинетической теории гранулированного потока (KTGF). В DPM модели динамика частиц усредняется по объему, что приводит к континуальному описанию газовой фазы частиц.

Преимущество TFM по сравнению с предыдущей моделью заключается в том, что можно моделировать более крупные системы: движение твердых частиц в каждой ячейке расчетной сетки характеризуется одним вектором фазовой скорости твердых частиц, в то время как в DPM необходимо отслеживать движение и столкновения  $O(100)$  частиц. Недостатком модели является то, что столкновения частиц с частицами не могут быть разрешены моделью. Вместо этого они учитываются через уравнения, вытекающие из кинетической модели гранулярного потока (KTGF) для плотных систем газ-твердое тело. Однако модель справедлива только в пределе почти упругих столкновений. Проблемы возникают тогда, когда межчастичные столкновения сильно отличаются от идеальных. Это характерно для влажных систем, таких как грануляция и сушка. [5]



Также для полноценного описания процесса фонтанирования слоя с горящим углем необходимо учесть и сам процесс горения. В начальном этапе исследования принята простейшая модель горения Species Transport [6, 7].

### **Источники**

1. Башкова М. Н. и др. Практика и перспективы применения различных способов сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках //Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2014. – №. 2 (8). – С. 24-32.

2. Матур, К., Эпстайн, Н. Фонтанирующий слой. – Л.: Химия, 1978. – 288 с.

3. Чичирова Н. Д., Зиганшин М. Г. ФОНТАНИРУЮЩИЙ СЛОЙ В ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА ТЭС. ЧАСТЬ 2. СЖИГАНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА. ОБРАБОТКА ВЫБРОСОВ НИЗКИХ ИСТОЧНИКОВ //Труды Академэнерго. – 2013. – №. 2. – С. 51-64.

4. Майстренко А.Ю., Дудник А.Н., Яцкевич С.В. Технологии газификации углей для парогазовых установок. – Киев, Общество "Знание" Украины, 1993. – 72 с.

5. Sutkar V. S., Deen N. G., Kuipers J. A. M. Spout fluidized beds: Recent advances in experimental and numerical studies //Chemical engineering science. – 2013. – Т. 86. – С. 124-136.

6. Welahettige P., Vaagsaether K. Comparison of OpenFOAM and ANSYS FLUENT //Proceedings of The 9th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, EUROSIM 2016, The 57th SIMS Conference on Simulation and Modelling SIMS 2016. – Linköping University Electronic Press, 2018. – №. 142. – С. 1005-1012.

7. ANSYS FLUENT 12.0 User's Guide. 15. Modeling Species Transport and Finite Rate Chemistry. <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node512.htm#chp-finrate>

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ

В.В. Гаврилин<sup>1</sup>, О.Е. Бабиков<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ю. Власова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru, <sup>2</sup>olegsey1998@yandex.ru

В современной энергетике невозможна стабильная выработка электрической и тепловой энергии без эффективной и качественной водоподготовки. Коррозионные отложения в энергетическом оборудовании отрицательно влияют на их производительность и износостойкость. В статье рассмотрена одна из систем водоочистки от различных веществ и примесей при помощи ионообменных смол. Были представлены современные технологии производства ионообменной смолы.

**Ключевые слова:** водоподготовка, ионообменная смола, энергетика, полимер, энергия.

## MODERN TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF ION- EXCHANGE RESINS

V.V. Gavrilin<sup>1</sup>, O.E. Babikov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru, <sup>2</sup>olegsey1998@yandex.ru

In the modern energy sector, stable generation of electrical and thermal energy is impossible without efficient and high-quality water treatment. Corrosive deposits in power equipment adversely affect their performance and wear resistance. The article considers one of the water purification systems from various substances and impurities using ion-exchange resins. Modern technologies for the production of ion-exchange resin were presented.

**Keywords:** water treatment, ion exchange resin, energy, polymer, energy.

В современной теплоэнергетике на ТЭС и АЭС энергетическое оборудование эксплуатируется при высоких нагрузках. Критические температуры ограничивают возможности использования теплоносителя с различными примесями и концентрациями соли, так как они оказывают негативное влияние на работоспособность и износостойкость оборудования и экономичность работы всей станции. На ТЭС и АЭС

главным теплоносителям выступает вода и водяной пар соответственно, поэтому главной задачей на станциях является обеспечение высокого качества водных ресурсов.

Очистка воды на ТЭС и АЭС осуществляется при помощи водоподготовительных установок. Процесс очистки на атомных и электрических станциях может быть организован с применением физических, химических и термических методов, а иногда и их комбинированием. Один из методов является ионный обмен веществ. Как правило, для ионного обмена используются ионообменные смолы. Они представляют собой синтетическое высокомолекулярное соединение, которые содержат в составе группы кислотного характера, диссоциирующие в растворе. Ионообменные смолы имеют очень маленький размер, он составляет 0,2-2,0 мм. Они имеют сферическую форму, в виде шарика, благодаря этому процесс улавливания ионов веществ из воды, заменяя своими, происходит интенсивнее [1].

Ионообменные смолы классифицируют на биполярные, амфотерные, катионообменные (сильнокислотные и слабокислотные) и анионообменные (с сильным и слабым основанием). Также смолы можно подразделять и по структуре матрицы: гелевые и макропористые. Главным отличием матриц является размер. Гелевые имеют молекулярные размеры, а макропористые десятки нанометров [2].

Существуют различные способы получения ионообменных смол [3]:

- 1) полимеризация – процесс образования высокомолекулярных связей используя мономеры;
- 2) поликонденсация – здесь процесс образования полимеров происходит ступенчато;
- 3) полимераналогичные превращения (хим. обработка полимера) – тоже процесс создания полимеров, но в ионогенные группы вводятся в инертный полимер.

Наиболее востребованным и чаще используемым способом является суспензионная полимеризация стирола, при помощи которой получают сетчатые полимеры.

В России единственным крупным производителем ионообменных смол является ООО ПО «ТОКЕМ». Эта компания обладает уникальной технологией производства монодисперсных ионообменных смол. Их смолы возможно использовать в различных сферах, в том числе теплоэнергетике и атомной промышленности.

Таким образом, водоподготовка играет важнейшую роль в энергетике и является её неотъемлемой частью, без которой невозможно

стабильное и экономичное производство электрической и тепловой энергии. Возможность использования модернизированных технологий получения монодисперсных ионообменных смол в котельных, ТЭЦ, АЭС и в других сферах позволит существенно улучшить качество водоподготовки.

### **Источники**

1. Кириленко, В. А. Органические и неорганические иониты / В. А. Кириленко, Н. М. Паршаков, Л. В. Боровская // Материалы Международной студенческой научной конференции «студенческий научный форум», Москва. Том VIII. Москва: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ЕВРОАЗИАТСКАЯ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА", 2021. С. 94-97.

2. Ионообменные смолы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rossnab-com.ru/index.php/articles/112-ionsmol.html> (дата обращения: 02.03.2023)

3. Акимова, Е. А. Место по "Токем" на рынке ионообменных смол / Е. А. Акимова // Современные проблемы науки и образования: материалы X Международной студенческой научной конференции, Москва. Том 8. Москва: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ЕВРОАЗИАТСКАЯ НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА", 2018. С. 89-91.

УДК 621.352

## **ТВЕРДООКСИДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ГИБРИДНЫХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

Ф.Р. Гайнутдинов

Науч. рук. док. хим. наук, профессор А.А. Чичиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ebkkk@yandex.ru

В статье рассмотрены гибридные энергосистемы на основе твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) для автономного энергоснабжения. Проведено сравнение систем ТОТЭ/газовая турбина с различными системами автономными электроснабжения.

**Ключевые слова:** технология твердооксидных топливных элементов, гибридные энергоустановки, моделирование ТОТЭ.

# SOLID OXIDE FUEL CELLS IN HYBRID POWER SUPPLY SYSTEMS

F.R. Gainutdinov  
KSPEU, Kazan, Russia  
ebkkk@yandex.ru

The article discusses hybrid power systems based on solid oxide fuel cells (TTE) for autonomous power supply. The comparison of the TTE/gas turbine systems with various autonomous power supply systems is carried out.

**Keywords:** solid-oxide fuel cell technology, hybrid power plants, SOFC modeling.

Автономные источники тепло- и электроснабжения экономически выгодны в регионах в которых имеются запасы водородосодержащего сырья (нефти, природного газа). В связи с этим, перспективной и прикладной задачей в республике Татарстан является использование гибридных систем ТОТЭ-газовая турбина для эффективной когенерации электрической и тепловой энергии на основе газообразных водородосодержащих отходов глубокой переработки нефти. ТОТЭ (SOFC) работают при температуре (700-1000 °С), просты в конструкции, состоят из нескольких слоев анода, катода, керамического электролита, проницаемого для ионов кислорода. К аноду электрохимической установки подводится топливо, к катоду – воздух. Отработанные газы ТОТЭ используются для приведения в действие газовой микротурбины, что повышает коэффициент полезного действия установки до 90%.

Гибридные энергоустановки на основе ТОТЭ малой мощности (от 1 до 50 кВт) имеют преимущества перед энергосистемами с дизельными генераторами (ДГ), газотурбинными (ГТУ) и газопоршневыми приводными двигателями (ГПУ). Они не требовательны к чистоте используемого топлива, работают без обслуживания до 4 лет так как не имеют движущих элементов, не используют расходных материалов (масел). Сравнение гибридных энергоустановок на базе ТОТЭ с микротурбинными установками с ДГ, ГПУ агрегатами показывает, что они превосходят своих конкурентов не только по КПД, но и по удельному расходу газа, эмиссии токсичных газов, а также по бесшумности. Генерация и потребление энергии на базе ТОТЭ локализована в одном и том же месте, и используется для обеспечения энергии удаленных объектов, где нет возможности получать электроэнергию от централизованных линий, в качестве резервных источников энергии. Технологии ТОТЭ дорогие, для их масштабного внедрения необходимо удешевление до стоимости 1 кВт · час не более 25 руб.

Отечественные исследовательские группы под руководством Липилина

А.С., Бредихина С.И., Коровина Н. В. проводят работы по совершенствованию технологий ТОТЭ [1-3]. Мировыми лидерами в области ТОТЭ созданы коммерческие энергоустановки на ТОТЭ с высокими эксплуатационными характеристиками.

Моделирование процессов работы ТОТЭ сокращает долю экспериментальной работы в общем объеме научных исследований. Разработаны математические модели для трубчатой, планарной, монолитной ТОТЭ. Для производства высокотехнологичных ТОТЭ существуют проблемы требующие решения: эффективность работы топливного элемента зависит от его конструкции, состава катализатора и твердого электролита, кинетических параметров электродных реакций. Модели описывают транспорт реагентов в зону электродных реакций, оптимизируют процессы на электродах, при этом учитываются структурные характеристики пористых электродов, увеличивающие реальную реагентную поверхность. Диффузионные процессы при подводе газообразных реагентов связаны с распределением плотности тока в электролите. Учет структурных факторов при моделировании работы ТОТЭ, подтверждается реальными характеристиками ТОТЭ, получаемыми экспериментально [4].

Актуальные потребности рынка энергоснабжения ставят фундаментальные и прикладные задачи разработки пилотных технологий производства энергии с помощью гибридных систем ТОТЭ/ газовая турбина, и перевод их в товарную продукцию. Экологически чистые источники энергии в качестве приводного двигателя используют модуль топливного элемента (50 кВт), включающий в себя батарею, собранную из унифицированных топливных элементов. Производство тепловой и электроэнергии будет экономически эффективным и конкурентоспособным с другими технологиями производства электроэнергии, если для прогнозирования энергетической эффективности использовать моделирование для расчета тепловых схем, позволяющих проводить комплексную оптимизацию структуры и параметров гибридных энергоустановок на водороде.

### **Источники**

1. Липилин. А. С. ТОТЭ и энергосистемы на их основе: состояние и перспективы / А.С. Липилин // Электрохимическая энергетика. – 2007. – Т. 7, № 2. – С. 61-72.

2. Бредихин, С. И. Твердооксидные топливные и электролизные элементы планарной геометрии / С. И. Бредихин // Топливные элементы и энергоустановки на их основе, Черногловка, 19–23 сентября 2021 года / ИФТТ РАН. – Черногловка: Черногловка, 2021. – С. 11.

3. Коровин, Н. В. Топливные элементы и электрохимические

энергоустановки / Н. В. Коровин. – Москва : Изд-во МЭИ. – 2005. – 278 с.

4. Фатеев, В. Н. Разработки и исследования водородных энергетических систем в Национальном Исследовательском Центре «Курчатовский институт» / В. Н. Фатеев, В. И. Порембский, С. И. Григорьев, И. Е. Баранов и др. // ИЗВУЗ. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 128–148.

УДК 628.161.2

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА УСТАНОВКЕ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ПАВОДКОВЫЙ ПЕРИОД**

И.Р. Галлямова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ю. Власова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

inrgallyamova0@gmail.com

В работе рассмотрены проблемы очистки и причины изменения качества воды в период паводков. Представлены фильтрующие материалы наиболее часто и эффективно применяемые для очистки воды. Рассмотрена технология получения адсорбентов из активированного угля. Рассмотрены разновидности ионообменных смол и их преимущества использования.

**Ключевые слова:** фильтры, паводки, водоочистка, активированный уголь, ионообменная смола, органопоглотитель.

## **APPLICATION OF FILTER MATERIALS TO REDUCE THE CONTENT OF ORGANIC SUBSTANCES AT A DRINKING WATER TREATMENT INSTALLATION DURING THE FLOOD PERIOD**

I.R. Galliamova,

KSPEU, Kazan, Russia

inrgallyamova0@gmail.com

The paper considers the problems of purification and the causes of changes in water quality during floods. The filter materials most frequently and effectively used for water purification are presented. The technology of obtaining adsorbents from activated carbon is considered. The varieties of ion-exchange resins and their advantages of use are considered.

**Keywords:** filters, floods, water treatment, activated carbon, ion exchange resin, organic absorber.

В большинстве районов страны источником водоснабжения являются поверхностные воды рек и озер, на долю которых приходится 65-68% общего водопотребления. В зависимости от времени года меняется цветность, мутность поверхностных источников и, как правило, достигает наибольших значений в период половодья. В то же время солесодержание, жесткость, щелочность уменьшаются в результате увеличения объема водоисточника за счет талых вод. В существующих методических рекомендациях Росгидромета нет количественных значений для определения начала или окончания паводков и наводнений [1]. В сезон паводков качество водопроводной воды неизбежно ухудшается. Это происходит по нескольким причинам:

- качество воды, поступающей на центральные очистные сооружения, значительно ухудшается из-за сезонного загрязнения рек грунтовыми и сточными водами;

- происходит таяние снега, в котором скапливаются различные загрязняющие вещества. Это особенно опасно, если рядом с источником питьевой воды находятся свалки, нефтебазы, склады пестицидов и ядохимикатов или заводы;

- городские очистные сооружения увеличивают дозу химических веществ, остаточные концентрации которых попадают в питьевую воду.

В периоды повышенной влажности, особенно после наводнений, содержание органических веществ в воде может значительно увеличиваться. Это может привести к проблемам с водоснабжением, поскольку питьевая вода может содержать загрязняющие вещества, опасные для здоровья человека [2]. На станциях очистки питьевой воды для снижения содержания органических веществ во время наводнений используются фильтрующие материалы.

Одним из наиболее распространенных фильтрующих материалов для уменьшения содержания органических веществ является активированный уголь. Фильтры с активированным углем являются очень эффективным методом очистки воды и могут удалять до 90% органических загрязнений из воды.

Активированный уголь производится из сырья, содержащего углерод: угля древесных пород, каменноугольного или нефтяного кокса, твердой скорлупы кокосовых орехов. Сырье проходит стадию термической обработки и затем активируется, то есть открываются закрытые поры углеродного материала [3]. В результате всех этих операций материал становится адсорбентом, то есть способным удерживать примеси из воды при фильтрации.

Активированный уголь - один из наиболее широко применяемых адсорбентов, используемых для повышения глубины очистки воды от



антропогенных веществ, неорганических и органических загрязнений, а также для удаления из воды продуктов хлорирования и продуктов озонирования на заключительном этапе водоподготовки. Устройство фильтрации очень простое - пористая структура активированного угля имеет большую площадь поверхности и может взаимодействовать со многими видами органических загрязнителей. Органические вещества адсорбируются на поверхности угля и удаляются из воды при прохождении через фильтр с активированным углем. Такой фильтр может использоваться как самостоятельный метод очистки воды или в сочетании с другими методами. Но активированный уголь имеет недостаток как избыточная пыльность, поэтому при введении в эксплуатацию уголь необходимо промывать водой и дополнять установку фильтром тонкой очистки после угольного. Поэтому чтобы сократить расходы на промывку используют кокосовый уголь, который более прост в эксплуатации.

Преимуществом адсорбционного метода является удаление широкого спектра загрязняющих веществ и загрязнений чрезвычайно высокой природы вплоть до любой остаточной концентрации, а также возможность управления процессом [4].

Другим широко используемым фильтрующим материалом является ионообменная смола (оранопоглотитель). Ионообменные смолы представляют собой полимерные сферы, которые обменивают ионы воды на ионы загрязняющих веществ. Они могут быть натуральными или синтетическими веществами, которые обладают способностью поглощать (адсорбировать) органические загрязнители, такие как масла, нефть, растворители, гербициды, пестициды, фенолы и т.д.

Ионообменная смола АРТ-7 используется для умягчения воды, загрязненной органическими соединениями. Проходя через фильтр, заполненный АРТ-7, вода становится мягче и освобождается от вредных органических соединений (нитратов, фосфатов, сульфатов и т.д.). Поверхность частиц содержит сильноосновные функциональные группы, которые задерживают ионы диссоциированных солей и кислот. Когда все активные молекулы на поверхности активного слоя "заполнены", ионообменник необходимо регенерировать. Регенерация достигается путем промывки частиц раствором хлорида натрия (NaCl) и каустической соды (NaOH).

Ионообменная смола ZGD730 используется для очистки питьевой воды и жидкостей, используемых в пищевой и фармацевтической промышленности (сахарные сиропы, глицерин, растворы аминокислот) от избытка органических веществ. Он может использоваться вместо или в сочетании с абсорбирующим углем. В этом случае его устанавливают в начале технологической цепочки, сразу после механического фильтра.

ZGD730 относится к категории пищевых смол, т.е. не выделяет нежелательных веществ в фильтрат.

Применение органопоглотителей для очистки воды имеет ряд преимуществ. Во-первых, это экологически безопасный метод, поскольку поглощенные вещества не выбрасываются в окружающую среду. Во-вторых, органопоглотители обычно легко удаляются из воды, что позволяет быстро и эффективно очистить загрязненную воду [5].

Помимо угольных и ионнообменных фильтров, существуют и другие типы фильтрующих материалов, которые могут быть использованы для очистки воды от органических загрязнений. Например, для очистки воды от бактерий и вирусов могут использоваться ультрафиолетовые лампы, которые уничтожают микроорганизмы при прохождении воды через специальную камеру.

Также могут быть использованы керамические фильтры, которые обладают микропористой структурой и могут удалять микроорганизмы и твердые частицы из воды. Керамические фильтры обычно используются в сочетании с другими методами очистки воды.

Итак, применение фильтрующих материалов для снижения содержания органических веществ на установке подготовки питьевой воды в паводковый период является важным шагом для обеспечения потребителей питьевой водой. Различные типы фильтрующих материалов могут использоваться в зависимости от характера загрязнений в воде. Угольные и ионнообменные фильтры являются наиболее распространенными методами очистки воды от органических загрязнений [6]. Однако, для достижения более полного удаления загрязнений, часто используются различные методы в комбинации, такие как ультрафильтрация или использование керамических фильтров.

### **Источники**

1. М.Б. Киреева, Н.Л. Фролова, Е.П. Рец, Т.Е. Самсонов, Е.А. Телегина, М.А. Харламов, Н.Н. Езерова, О.М. Пахомова. // Водное хозяйство России № 4, 2018 г. // «Паводочный сток на реках европейской территории России и его роль в формировании современного водного режима»

2. Бабич, А.Н. Экологические проблемы городских водоёмов и пути их решения /А.Н. Бабич, Е.В. Шаповалова // Материалы национальной научно-практической конференции. – Омск, 2016

3. Портнова Т. М., Витковская Р. Ф., Дрегуло А. М., Кудрявцев А. В., Родионов В. З., Проценко О. В., Фуртатова А. С. // Реактивация сорбента (гранулированного активированного угля) двухслойных скорых фильтров

для оптимизации качества питьевого водоснабжения

4. Описание изобретения к патенту RU 2 499 770 С2 «Фильтр для очистки воды на основе активированного угля и способ его регенерации» Автор(ы): Кармазинов Ф. В., Кинебас А. К., Трухин Ю. А., Мурашев С. В., Петров Е. Н.

5. Е.Н. Бушуев, Н.А. Еремина, А.В. Жадан Анализ современных технологий водоподготовки на ТЭС // Вестник ИГЭУ, выпуск 1, 2013г.

6. Родионов А.И., Клушин В.М., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды. М.: Химия, 1989.

УДК 621.165

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦИЛИНДРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ТРУБИН Т-100**

А.М. Гарифуллина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

garifullina200121@gmail.ru

Для решения проблемы снижения надежности турбин Т-100 и ее модификаций приводятся различные улучшения в конструкцию агрегата. Повышение эффективности цилиндра высокого давления является одним из основных факторов модернизации паровых турбин.

**Ключевые слова:** паровые турбины, модернизация, цилиндр высокого давления, уплотнения, надежность.

## **MODERNISATION OF THE HIGH-PRESSURE CYLINDER FLOW PART OF T-100 PIPES**

A.M. Garifullina

KSPEU, Kazan, Russia

garifullina200121@gmail.ru

To solve the problem of decreasing reliability of T-100 turbines and its modifications, various improvements to the design of the unit are being introduced. Improving the efficiency of the high-pressure cylinder is one of the main factors in the modernisation of steam turbines.

**Keywords:** steam turbines, retrofit, high-pressure cylinder, seals, reliability.

В настоящее время в эксплуатации находится большое количество турбин Т-100 и ее модификаций, отработавших уже более 220 тыс. часов, что превышает значение паркового ресурса [1]. Рост наработки сопровождается накоплением повреждений металла, вызванных процессами ползучести, термической усталости, деградации структуры и свойств металла. Все это приводит к резкому падению характеристик агрегата и, что самое опасное, к снижению надежности. В результате становится реальностью опасность неплановых остановок турбины или, хуже того, аварий с самыми тяжелыми последствиями, вплоть до гибели персонала. А следствием такой ситуации может стать отключение тепла и электричества, что в свою очередь может иметь самые плачевные последствия для всей системы жизнеобеспечения отдельного района или даже города.

Цель модернизации – возобновление ресурса основных высокотемпературных деталей и узлов, а также «моральное» обновление турбин с одновременным увеличением мощности и повышением надежности, экономичности, маневренности и ремонтпригодности.

В конструкции цилиндра высокого давления вместо двухвенечной применяют более экономичную одновенечную регулируемую ступень [2]. Современное облопачивание проточной части ЦВД обеспечивает увеличенный расход пара и позволяет улучшить технико-экономические показатели всего турбоагрегата [3]. В надбандажные и диафрагменные уплотнения ступеней со 2 по 9 и в концевые уплотнения ЦВД внедряют высокоэффективные сотовые паровые уплотнения. Модернизация цилиндра высокого давления позволяет повысить относительный внутренний КПД проточной части высокого давления на величину от 2,5% до 4%.

В новой конструкции ЦВД вместо коробов используются системы обогрева фланцев и шпилек с обнизками [4]. Это существенно улучшает маневренные качества турбоагрегата при сохранении надежности. Данная система может также использоваться при остановке турбины в режиме ускоренного расхолаживания.

Для увеличения надежности системы парораспределения внесены улучшения в конструкцию кулачкового распределительного устройства:

- Усиленная, более жесткая рама, позволяющая уменьшить деформацию системы
- Новые секторы и шестерни больших диаметров, что значительно снижает контактные напряжения в зубьях
- Изменен профиль кулаков, что позволяет уменьшить нагрузки на

систему

- Увеличен диаметр кулачкового распределительного вала
- Используются подшипники с большей грузоподъемностью
- Изменено крепление сервомотора ЧВД, что позволяет уменьшить износ секторов и увеличить срок службы в два раза

Кроме этого, в рамках модернизации ЦВД проводится замена пароперепускных труб, и возможна организация дополнительного отбора пара для собственных нужд с установкой блока защитно-регулирующих клапанов [5].

В результате, модернизация позволяет получить турбину с ресурсом новой машины и существенно улучшенными технико-экономическими показателями. Производитель тепла и электрической энергии за счет предоставления дополнительной мощности и дополнительной выработки электроэнергии, экономии топлива и дополнительного отпуска тепловой энергии получит дополнительный доход за жизненный цикл модернизированной турбины.

### **Источники**

1. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. – 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1990.
2. Электронный каталог Уральского турбинного завода [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://storage.energybase.ru/source/400/vApZXdYy61C5ucobKjKfh2V78049KRVy.pdf>
3. Электронный каталог ОАО «Силовые машины». Паровые турбины [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.energyed.ru/res/Discipline/Engine/tur-2-5.pdf>
4. Низамова А. Ш. Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты. Часть 1 (6 семестр): Учебное пособие / Под ред. Н. Г. Шагиева. – Казань: Каз. гос. энерг. ун-т, 2005.
5. Низамова А. Ш. Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты. Часть 2 (7 семестр): Учеб. пособие / А.Ш. Низамова. Под ред. Н.Г. Шагиева.– Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010.

## УДАЛЕНИЕ КРЕМНИЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ВОДНО-ХИМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ТЭС

Р.И. Гильмутдинова

Науч.рук. асс. Б.А. Гильфанов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gilmutdinovarz@gmail.com

В данной работе рассматриваются организация водно-химических режимов и влияние различных факторов на эффективную работу тепловых электростанций. В статье также рассмотрены устранения различных отложений, возникающих в процессе работы станций, которые приводят к снижению эффективной работоспособности теплоэнергетического оборудования, а именно как соединения кремния воздействуют на поверхность оборудования.

**Ключевые слова:** отложения, соединения кремния, котловая вода, ТЭС, коррозия, водно-химический режим.

## REMOVAL OF SILICON DEPOSITS IN THE WATER-CHEMICAL MODE OF THE TPP

R.I. Gilmutdinova

KSPEU, Kazan, Russia

gilmutdinovarz@gmail.com

This paper discusses the organization of water-chemical regimes and the influence of various factors on the efficient operation of thermal power plants. The article also discusses the elimination of various deposits that occur during the operation of stations, which lead to a decrease in the effective performance of heat and power equipment, namely, how silicon compounds affect the surface of the equipment.

**Keywords:** deposits, silicon compounds, boiler water, TPP, corrosion, water chemistry.

Организация водно-химического режима является важным компонентом обеспечения надежной и экономичной работы теплоэнергетических оборудования. В ТЭС используется вода, тщательно очищенная, имеющая высокое качество, но несмотря на это присутствующие в питательной и котловой воде элементы могут привести

к образованию отложений. Эти отложения в свою очередь приводят к появлению коррозии, тем самым возникает риск ухудшения показателей работы ТЭС [1].

Существует большое количество процессов, оказывающих влияние на появление коррозии. Разрушение защитной пленки металла может происходить под воздействием термохимических, механических и химических факторов. Для создания прочной защитной пленки применяются разные методы [2]. Так, например, для труб барабанных котлов существует коррекционная обработка котловой воды, при котором используется щелочной раствор трилона Б с применением едкого натра NaOH. Введение этой щелочи предполагает нейтрализацию кислых продуктов, при этом процесс ведется совместно с добавлением раствора тринатрийфосфата  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и контролируется по среде котловой воды.

При испарении воды происходит выделение пара, наряду с этим также происходит концентрирование всех примесей, поступающих на котел с питательной водой. Определенная часть примесей выводится с продувочной водой, но также при этом возникает предел концентрации примесей. Таким образом, происходит перенасыщение раствора котловой воды и на значимых участках металла откладываются трудно растворимые соединения. Эти соединения в свою очередь служат причиной последующего образования накипи. Задачей водного режима является устранение отложений и минимизирование их скорости образования.

В связи с испарением воды вещества, дойдя до своих пределов растворимости, образуют твердые фазы, которые выпадают в виде шлама. К таким веществам относятся соединения кальция и магния, а также оксиды алюминия, железа. Для устранения отложений используется фосфатная обработка котловой воды, которая при взаимодействии ионов  $\text{PO}_4^{3-}$  с кальциевой накипью образуют малорастворимые соединения типа  $\text{CaSiO}_3, \text{CaSiO}_4$ . При этом раствор фосфата вводится в котловую воду непрерывно и равномерно, чтобы не образовались иные соединения, которые могли бы образовать накипи.

Образования в котлах подразделяются на несколько типов. Они могут быть щелочно-земельные, в состав которых входят кальций и магний, медно-цинковые и железистоокисные. Появление отложений в экранных трубах и количество выделяемых элементов таких как цинк, медь зависят от pH среды, концентрации компонентов. Самыми трудноудаляемыми отложениями являются соединения кремния, которые сложно удалить даже кислотами [3]. При высоких температурах в котле образуются коллоидные соединения кремния, которые откладываются

виде нерастворимых осадков. Несмотря на это, благодаря присутствию в воде ионов железа образуются еще более трудноудаляемые соединения, которые не удалить ни с помощью фильтрации, ни с помощью отстаивания. Для таких образований применим методультразвукового воздействия в режиме стоячей волны, при котором трудноудаляемый кремний переходит в растворимые соединения [4].

При возникновении отложений типа гидроксидов магния и кальция или какие-либо карбонатные и фосфатные соединения к ним применимо использования соляной кислоты, чтобы растворить эти образования. Однако при появлении силикатных и сульфатных отложений перед растворением в минеральных кислотах, они проходят этап, называемый щелочной варкой. При этом применяются гидроксиды натрия, фосфат натрия или карбонат натрия. В процессе щелочной варки происходит реакция обмена, тем самым возникают фосфаты и карбонаты, которые растворяются в кислотах.

Наиболее сложно удалить соединение- диоксид кремния  $SiO_2$ . Оно может образоваться при низкой щелочности воды. Для наиболее тщательного удаления отложений используют ультрафильтрация, которая объединяет в себе процесс мембранного разделения и концентрирование растворов. Наряду с ультрафильтрацией также используется обратный осмос, предполагаемый удаление кремния посредством прохождения молекул воды через полупроницаемую мембрану, при этом нерастворимые частицы задерживаются на мембране, после чего они удаляются из воды [5].

Предотвращение появления нерастворимых соединений является особо важным процессом, так как наличие немалого количества осадений на поверхности котлов влечет за собой большие экономические потери. Для примера можно рассмотреть зависимость перерасхода топлива от толщины слоя отложений [6]. Если ГРЭС (2ГВт) потребляет 4 млрд.м<sup>3</sup> природного газа в год, а средняя толщина отложений на котлах 5 мм , можно подсчитать сколько составит ущерб при стоимости газа 5 руб/ м<sup>3</sup>.

Таблица 1

Зависимость перерасхода топлива от толщины слоя отложений

Толщина накипи, мм								
Среднее значение перерасхода топлива в %	до 1							



При наличии 5 мм отложений , при этих данных потери составляют до 1,5 млн рублей в год.

В заключении можно понять важность устранения отложений на теплоэнергетическом оборудовании. При выборе определенного метода стоит учитывать особенности оборудования. Так как от выбора способа устранения зависит как экономический фактор, так и работоспособность тепловых станций.

### **Источники**

1. Воронов, В. Н. Проблемы организации водно-химических режимов на тепловых электростанциях / В. Н. Воронов, Т. П. Петрова // Теплоэнергетика. – 2002. – № 7. – С. 2-6. – EDNXROOFL.

2. Гильфанов, Б. А. Современные методы защиты от коррозии теплоэнергетического оборудования / Б. А. Гильфанов, Л. В. Сироткина // Тинчуринские чтения : Материалы XIV Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 23–26 апреля 2019 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 1. Часть 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 381-384. – EDN VHONAB.

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

4. Илгач, А. Н. Очистка воды, удаление отложений, восстановление антикоррозионных свойств материалов труб, оборудования систем водо, тепло, - пароснабжения методом термодинамической активации воды с применением средства сот-2000 / А. Н. Илгач // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2008. – № 12(12). – С. 50-56. – EDN JYBEBP.

5. Силос О. В., Фарносова Е. Н., Каграманов Г. Г. Мембранная технология очистки воды, содержащей соединения кремния и тяжелых металлов // Успехи в химии и химической технологии. 2011. №11 (127). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/membrannaya-tehnologiya-ochistki-vody-soderzhashey-soedineniya-kremniya-i-tyazhelyh-metallov>.

6. Допшак В. Н., Асташев С. Ю., Бяков А. Г. Оптимизация технических решений в теплоэнергетики // Вестник КузГТУ. 2014. №3 (103). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-tehnicheskikh-resheniy-v-teploenergetiki>

## ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИКИ ПОТОКА В ЦИКЛОНЕ ЦН-11

С.В. Горбунов<sup>1</sup>, Р.Р. Даминов<sup>2</sup>,

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. М.Г. Зиганшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>gorbunovserega88@gmail.com, <sup>2</sup>rusdaminov2@gmail.com

По методике построения численной модели циклона в среде SpaceClaim Direct Modeler (SCDM), разработанной и валидированной для циклона ЦН-15. построена геометрия модели циклона ЦН-11-200, с углом наклона входного патрубка 11°. Проведена адаптация расчетной сетки и исследована аэродинамика потока в аппарате. Результаты расчетов показали физическую адекватность модели.

**Ключевые слова:** численная модель, SpaceClaim, модели вязкости, сеточная зависимость, циклон ЦН-11.

## NUMERICAL INVESTIGATIONS OF FLOW AERODYNAMICS INSIDE CYCLONE TsN-11

S.V. Gorbunov <sup>1</sup>, R.R. Daminov<sup>2</sup>,

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>gorbunovserega88@gmail.com, <sup>2</sup>rusdaminov2@gmail.com

According to the method of constructing a numerical model of a cyclone in the SpaceClaim Direct Modeler (SCDM) environment, developed and validated for the TsN-15 cyclone. the geometry of the TsN-11-200 cyclone model was built, with the inlet pipe inclination angle of 11°. The computational grid has been adapted and the aerodynamics of the flow in the vehicle has been studied. The calculation results showed the physical adequacy of the model.

**Keywords:** numerical model, SpaceClaim, viscosity models, grid dependence, cyclone TsN-11.

В предыдущей работе [1] была представлена численная модель устройства для сепарации взвеси из запыленных потоков с геометрией, максимально приближенной к конструкции циклона ЦН-15-200, имеющего отклонение входного патрубка от горизонтали на 15°. Тестовые испытания, показавшие работоспособность численной модели, обеспечили

валидацию усовершенствованных приемов, примененных при построении в среде SpaceClaim Direct Modeler (SCDM) препроцессора ANSYS, в отличие от приемов построения в этой среде циклонов с горизонтальным или вертикальным входом, обычно используемых отечественными и зарубежными авторами – см., напр. [2, 3]. Моделирование геометрии циклонов с наклоном входного патрубка практиковалось в наших ранних работах ([4]), однако в них использовался препроцессор GAMBIT со средой DesignModeler, аналогом CAD-пакета. В среде SCDM модель циклона с наклонным входным патрубком была создана впервые, и ее успешная валидация имела особое значение для продолжения исследований.

На данном этапе работы с использованием апробированных приемов была построена геометрия модели циклона ЦН-11-200, с углом наклона входного патрубка  $11^\circ$  и диаметром корпуса 200 мм (рисунок 1).

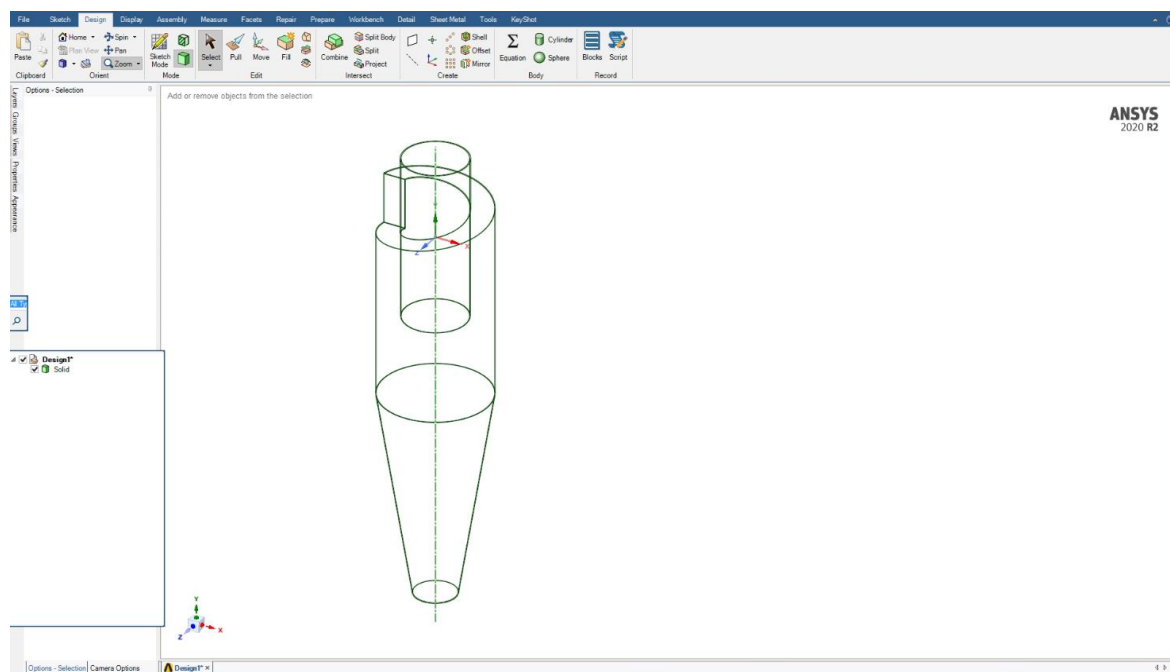


Рис. 1. 3d- геометрия численной модели циклона ЦН-11-200

После первичной генерации расчетная сетка а измельчалась с контролем значений давления  $p$ , Па, и скорости  $v$ , м/с, потока в зоне его поворота под выхлопной трубой. Расчеты проводились с использованием моделей вязкости Спаларта-Аллмараса (S-A), k- $\epsilon$ , k- $\omega$ .

Измельчение сетки при устранении сеточной зависимости

Номер опыта	Характеристики ячеек		Параметры потока для моделей вязкости (S- A)/(k-ε)/(k-ω)	
	количе-ство	средний размер, мм		
			$p$ , Па	$v$ , м/с
1	23399	45	(6,37)/(5,95)/(5,92)	(1,75)/(1,75)/(1,4)
2	33626	20	(6,67)/(6,54)/(6,59)	(1,75)/(1,75)/(1,4)
3	146769	10	(8,95)/(8,42)/(8,88)	(1,76)/(1,78)/(1,43)
4	733318	5	(9,62)/(9,33)/(9,88)	(1,84)/(1,93)/(1,55)

Характеристики сетки при адаптации приведены в таблице, а на рис. 2 а, б представлены типичные графики адаптационных кривых для модели вязкости k-ε. Можно видеть, что при размере ячеек 5 мм наблюдается тенденция стабилизации величин  $p$  и  $v$ , но самой стабилизации еще нет.

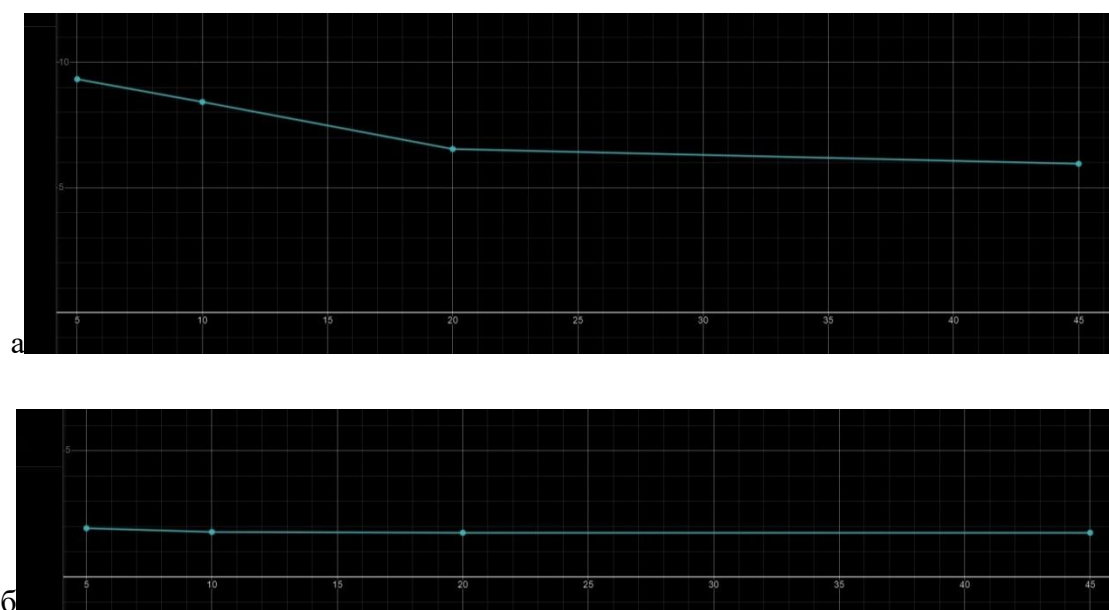


Рис. 2 Адаптационные графики по давлению (а) и по скорости потока (б) для модели вязкости k-ε

Дальнейшее измельчение сетки по всему объему ведет к значительному росту числа ячеек (при размере ячеек 2 мм их количество достигает 6348574), и к нехватке вычислительного ресурса. Чтобы количество ячеек не превышало 1,5-2 млн., необходимо выполнять адаптацию по границам (Boundary Adaptation) и регионам (Region Adaptation) вычисляемого объема.

### Источники

1. Даминов Р.Р., Горбунов С.В. Построение 3D-геометрии циклона ЦН-15 для численного исследования эффективности сепарации. XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика. Казань, ФГБОУ «Казанский государственный энергетический университет», 6–7 декабря 2022 г.
2. Zabala-Quintero, C.; Ramirez-Pastran, J.; Torres, M.J. Performance Characterization of a New Model for a Cyclone Separator of Particles Using Computational Fluid Dynamics. *Appl. Sci.* 2021, 11, 5342. <https://doi.org/10.3390/app11125342>
3. B. Gopalakrishnan, G. Saravana Kumar, K. Arul Prakash, Parametric analysis and optimization of gas-particle flow through axial cyclone separator: A numerical study, *Advanced Powder Technology*, 34 (2023), 103959. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2023.103959>
4. Замалиева А.Т., Зиганшин М.Г., Потапова Л.И. Об эффективности существующих методов циклонной фильтрации при осаждении мелкодисперсных частиц классов PM10, PM2,5. *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*, №4, с. 415-423 (2017).

УДК 621.039.54

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕОТЭС В МИРЕ

М.Д. Гордеев

Науч. рук. асс. О.Е. Бабиков  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
[maksim-gordeev-2003@mail.ru](mailto:maksim-gordeev-2003@mail.ru)

В статье рассмотрены направления развития геотермальных технологий и нынешнее состояние геотермальной энергетики. Приведены технические характеристики геотермальных электрических станций и вырабатываемая ими мощность. Представлены используемые для реализации ресурсы и нынешнее состояние геотермальной энергетики на 2021 год.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика, геотермальная технология, геотермальная электрическая станция (ГеоТЭС).

# CURRENT STATUS OF GEOTHERMAL POWER PLANTS

M.D. Gordeev

KSPEU, Kazan, Russia

maksim-gordeev-2003@mail.ru

The article considers the directions of technology development and the current state of geothermal energy. The technical characteristics of geothermal power plants and the power they generate are given. The resources used for implementation and the current state of geothermal energy for 2021 are presented.

**Keywords:** geothermal energy, geothermal technology, geothermal power plant.

Переход от нынешней энергетической системы, основанной на ископаемых видах топлива, к устойчивой энергетике, основанной на возобновляемых источниках энергии, требует развития технологий и серьезных финансовых затрат для любой страны.

Геотермальная энергия – это энергия, содержащаяся в виде тепла в недрах Земли, которая может быть использована для получения тепловой и электрической энергии.

Геотермальная энергетика достаточно перспективна, хотя и имеет свои особенности и проблемы по сравнению с другими технологиями использования возобновляемых источников энергии. Развитие и внедрение геотермальных электростанций (ГеоТЭС) обладает значительным потенциалом с точки зрения снижения негативного техногенного воздействия на окружающую среду и выбросов парниковых газов при производстве электроэнергии.

Преимущества геотермальной энергии заключаются в ее экологичности, возможности использования ее потенциала для выработки электроэнергии и непосредственного использования тепла в промышленности и быту независимо от метеорологических условий.

Геотермальная энергия представляет собой тепло, которое в основном накапливается в горячих породах на больших глубинах от поверхности земли, а также содержится в гидротермальных резервуарах при высоких температурах. Глубина геотермальных скважин колеблется от 300 м до более 3000 м.

В основном геотермальные станции строятся в вулканических районах, где на относительно небольших глубинах вода перегревается выше температуры кипения и просачивается к поверхности, иногда проявляясь в виде гейзеров. Доступ к подземным источникам

осуществляется бурением скважин. Вода, которая испаряется и пар, образовавшийся в результате кипения, используется для привода турбины. Отработавший пар конденсируется и вновь пропускается через теплообменник, создавая тем самым замкнутый цикл.

Установленная электрическая мощность ГеоТЭС в мире на декабрь 2021 года составила 15 824 МВт. В таблице приведены страны, лидирующие по установленной геотермальной мощности.

Таблица

Страны-лидеры в области геотермальной энергетики

Страна	ГеоТЭС. Мощность	Назначение и особенности
США	Комплекс Гейзеров, 1662,4 МВт	Крупнейший в мире комплекс, включающий 15 действующих геотермальных электростанций (321 паровых и 72 нагнетательных скважин)
Индонезия	Станция Дараджат, 230 МВт	Комплекс на юго-востоке от столицы страны. Находится в районе горы Кенданг недалеко от вулканических гор. Используют воды, нагретые вулканическими породами.
Филиппины	Комплекс Макилинг- Бахау, 460 МВт	Расположен неподалёку от недействующего вулкана Макилинг, который проявляет вулканизм в виде грязевых и горячих источников.
Турция	Кызылдере, 95 МВт	Расположен на первом в Турции геотермальном месторождении с высоким потенциалом. Резервуар Кызылдере окружен мраморными и известняковыми породами, содержащими большое количество углекислого газа.
Новая Зеландия	Каверау, 121 МВт	Расположена на геотермальном месторождении, предназначалась для подачи пара на целлюлозно-бумажный завод Тасман и для выработки электроэнергии. Используются горные воды температурой 300 °С
Мексика	Комплекс Серро- Прието, 720 МВт	Расположен в активном континентальном рифте недалеко от кратера шириной 200 метров. Для выработки электроэнергии используются вулканические воды.

Италия	Комплекс Лардарелло, 770 МВт	Представляет собой огромную глубинную геотермальную систему, расположенную под глубинными карбонатными резервуарами, а также используются источники газовых поверхностных явлений.
Кения	Олкария 4, 140 МВт	Самая мощная станция на африканском континенте, расположена в вулканическом районе, используются глубинные вулканические воды.
Исландия	Хеллишейди, 290 МВт	Расположена около вулкана Хенгидль, стоит отметить, что в Исландии огромное количество вулканов, поэтому вся геотермальная энергетика этой страны основана на использовании вулканических вод и газовых выбросов.
Япония	Хаттёбару, 112 МВт	Крупнейшая ГеоТЭС в Японии. Первая бинарная геотермальная станция в Японии.

В 2021 году было введено дополнительно в эксплуатацию в общей сложности 246 МВт. Наибольший рост на сегодняшний день отмечается в Индонезии, где мощность увеличилась на 143 МВт за счет двух новых электростанций, за ней следуют Чили (Серро Пабеллон) и Турция. Продолжается строительство проекта Laguna Colorada в Боливии (Южная Америка), который планируется ввести в работу в 2022 году.

Каковы же перспективы развития геотермальной энергетики? По прогнозам к 2040 году потребление и выработка электроэнергии в мире на ГеоТЭС увеличится на 60%. Геотермальная энергетика имеет множество преимуществ, которых лишены солнечная и ветряная энергетика, а также традиционные виды электростанций.

### **Источники**

1. Moya D., Aldás C., Kaparaju P. Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications / Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 94, pp. 889-901, 2018.
2. Zarrouk S.J., Moon H. Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review / Geothermics. Vol. 51, pp. 142-153, 2014.
3. Свалова В. Б. Комплексное использование геотермальных ресурсов / Георесурсы. №. 1 (29), С. 17-23, 2009.



## **ПРИМЕНЕНИЕ СЕТИ LORAWAN ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Д.Ш. Губайдулин<sup>1</sup>, А.Р. Шарипов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Вилданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>gubajdulindanil082@gmail.com, <sup>2</sup>aiazsha29@gmail.com

В статье представлен обзор вопросов, связанных с оперативно-дистанционным контролем трубопроводов, изолированных пенополиуретаном. Рассмотрена необходимость такого контроля, обусловленная особенностями эксплуатации трубопроводов, а также описаны существующие методы оперативно-дистанционного контроля. Особое внимание уделено контролю трубопроводов, изолированных пенополиуретаном, так как эта изоляция имеет свои особенности, влияющие на качество контроля. Рассмотрены примеры практического применения оперативно-дистанционного контроля трубопроводов в пенополиуретановой изоляции, а также перспективы развития этой технологии в будущем.

**Ключевые слова:** Оперативно-дистанционный контроль, пенополиуретановая изоляция, технология LoraWan, автоматизированная система коммерческого учета энергии.

## **APPLICATION OF LORAWAN NETWORK FOR AUTOMATION OF SYSTEMS OF OPERATIONAL REMOTE CONTROL OF THE THERMAL INSULATION OF POLYURETHANE FOAM PIPELINES**

D.Sh. Gubaidulin<sup>1</sup>, A.R. Sharipov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>gubajdulindanil082@gmail.com, <sup>2</sup>aiazsha29@gmail.com

This article provides an overview of issues related to the operational and remote control of pipelines insulated with polyurethane foam. The need for such control, due to the peculiarities of the operation of pipelines, is considered, and the existing methods of operational-remote control are described. Particular attention is paid to the control of pipelines insulated with polyurethane foam, since this insulation has its own characteristics that affect the quality of control. Examples of practical application of online remote monitoring of

pipelines in polyurethane foam insulation, as well as prospects for the development of this technology in the future, are considered.

**Keywords:** operational and remote control, polyurethane foam insulation, LoraWan technology, automated commercial energy metering system.

Изоляция трубопроводов является важным элементом инфраструктуры, обеспечивающим безопасную и надежную эксплуатацию систем транспортировки различных веществ. Однако, как и любое другое техническое сооружение, трубопроводы подвержены различным видам износа и повреждений, что может привести к снижению качества изоляции и повышению риска возникновения аварийных ситуаций. Для минимизации таких рисков в эксплуатации трубопроводов применяется оперативно-дистанционный контроль (ОДК), который позволяет быстро и эффективно выявлять возможные неисправности.

Одним из важных элементов ОДК является пульт дистанционного управления, который предназначен для оценки текущего состояния полиуретана изоляционного слоя трубопроводов. Особенно важно контролировать состояние изоляции в зонах повышенной влажности, так как в таких местах повреждение изоляции может произойти быстрее, чем в других зонах [1]. В данной статье мы рассмотрим вопросы, связанные с применением пульта дистанционного управления в системе ОДК для оценки состояния пенополиуретановой изоляции трубопроводов и выявления неисправностей в зонах повышенной влажности. Также мы ознакомимся с методами применения датчиков и приборов, работающих на сети LoraWan, используемыми в настоящее время, и рассмотрим перспективы развития этой технологии в будущем.

Основная задача системы ОДК – обнаружение участков с повышенной влажностью изоляции. Такое повышение влажности может быть вызвано проникновением влаги через наружный гидроизоляционный слой трубопровода или утечкой теплоносителя из стального трубопровода вследствие коррозии или дефектов сварных соединений [2]. Для быстрого обнаружения участков увлажнения теплоизоляции применяется система, которая измеряет электрическую проводимость теплоизоляционного слоя трубопроводов и передает полученные данные по сети LoraWan. Технология. LoraWan – это беспроводная система передачи данных, которая позволяет проводить мониторинг различных параметров с высокой точностью и на большие расстояния. Для контроля влажности тепловой изоляции используются сигнальные медные проводники с определенными характеристиками, которые устанавливаются в слое

пенополиуретановой изоляции. Если в системе обнаруживаются какие-либо отклонения от нормы, операторы системы могут немедленно принять меры для предотвращения аварийных ситуаций. Кроме того, технология LoraWan позволяет отслеживать состояние изоляции трубопроводов на удаленном расстоянии, что упрощает процесс мониторинга и контроля. Это особенно важно в случаях, когда трубопроводы расположены на отдаленных территориях или в условиях ограниченного доступа [3].

Однако технология LoraWan применяется не только для систем ОДК, она так же актуальна в секторе ЖКХ в целом. На данный момент распространена технология автоматизированной системы коммерческого учета энергии (АСКУЭ). Технология АСКУЭ применяется во внутридомовых счетчиках горячего и холодного водоснабжения, а также для учета электроэнергии. Принцип действия данной системы аналогичен системе ОДК, по прописанной программе датчик снимает показания от одного до нескольких раз в сутки, после чего все данные отправляются на сервер сети LoraWan для дальнейшей обработки данных, а именно для учета потребления энергии жильцами дома или квартиры.

Таким образом, система оперативного дистанционного контроля трубопроводов с пенополиуретановой изоляцией позволяет своевременно получить нужные данные и среагировать на повреждения в сети, что повышает экономическую эффективность всей установки. Также стоит обратить внимание, что системы, работающие на сети LoraWan становятся все более актуальными и находят свое применение не только в сферах энергетики и ЖКХ, но и в других различных сферах.

### **Источники**

1. Закирова И.А., Чичирова Н.Д. Исследование тепловых процессов в изоляции трубопроводов тепловых сетей с применением тонкопленочных покрытий // Теплоэнергетика. 2019. № 10. С. 57–65.

2. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 6. С. 188-201.

3. Оперативно-дистанционный контроль трубопроводов в ППУизоляции [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6) (дата обращения 5.03.2023).

## ГОРЕЛОЧНОЕ УСТРОЙСТВО НА ОГНЕВОМ СТЕНДЕ КАФЕДРЫ АТЭС

С.С. Ефремов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.М. Грибков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

simanov-efremov@mail.ru

В статье приведены ход и результаты испытаний горелки на огневом стенде. Рассмотрена уникальная конструкция горелочного устройства ее плюсы и минусы.

**Ключевые слова:** горелочное устройство, огневой стенд.

## BURNER ON THE FIRE STAND OF THE DEPARTMENT OF APES

S.S. Efremov

KSPEU, Kazan, Russia

simanov-efremov@mail.ru

The article presents the progress and results of testing the burner on the firing stand. The unique design of the burner device, its pros and cons, is considered.

**Keywords:** burner device, fire stand.

Одним из основных элементов котельного оборудования является горелочное устройство. Горелочные устройства предназначены для ввода в топочную камеру топлива и воздуха, последующего их перемешивания и поддержания устойчивого воспламенения горючей смеси [1]. Благодаря эффективному сгоранию топлива, уменьшаются суммарные выбросы вредных веществ в окружающую среду и увеличивается тепловая мощность горелки.

На огневом стенде кафедры АТЭС установлена горелка для натуральных испытаний. Особенность данной горелки заключается в способе смесеобразования газа и воздуха (рис.1).

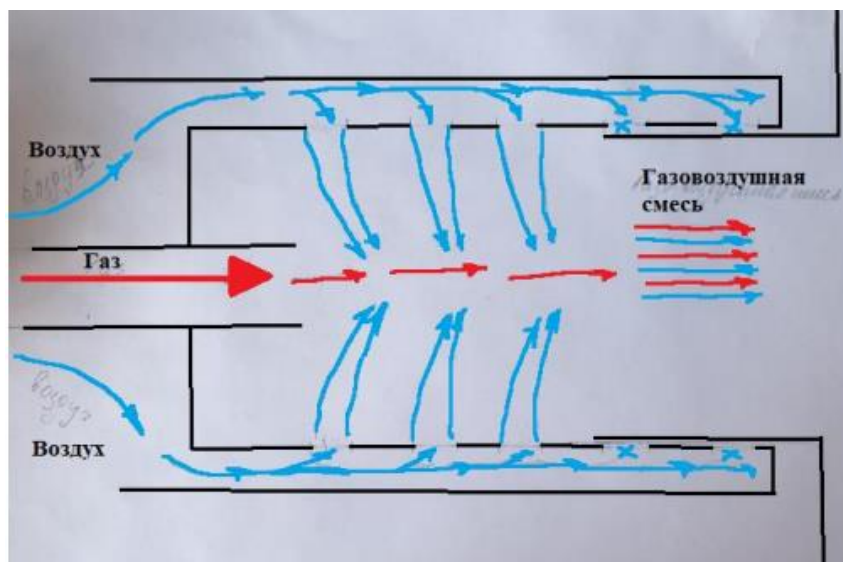


Рис. 1. Схема потоков газа и воздуха горелки

В горелку поступает воздух и через отверстия попадает в камеру смешения воздуха и газа. Газ поступает в центральную часть камеры смешения. Благодаря подвижной части горелки и смещения ее в доли оси, регулируется скорость перемешивания газа и воздуха, за счет перекрытия или открытия отверстий, через которые в камеру смешения подается воздух. Такой способ даёт возможность дополнительного регулирования режима горелки.

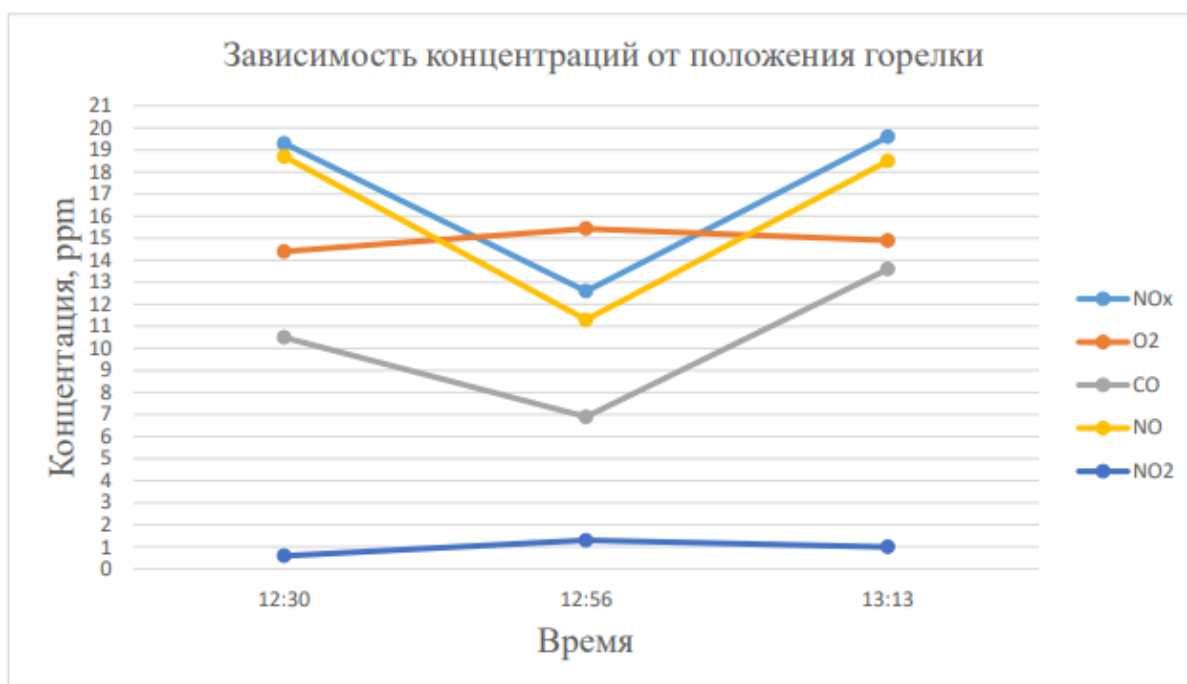


Рис.2. График изменения концентраций при отодвинутой горелки

На огневом стенде закреплена неподвижная часть горелки, подвижная часть закреплена на подвижной штанге, с помощью которой горелку можно передвигать вдоль оси, тем самым меняя ее режим, тем самым меняя ее режим.

Были проведены испытания на нескольких режимах горелки и получены данные о суммарных концентрациях CO, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NO, NO<sub>2</sub> (рис. 2)

Из графика хорошо видно, как изменяются концентрации веществ от положения горелки. Подобрать оптимальный режим горелки, это значит получить максимальную тепловую мощность сжигания топлива, при этом получить максимально низкие концентрации веществ токсичных для окружающей среды.

Плюсы данной горелки заключаются в широком диапазоне режимов горелки, возможности регулировки не только специальным оборудованием, но и конструкцией самой горелки.

Специфической особенностью данной горелки является трудность в определении оптимального режима смесеобразования и последующего горения топлива.

### **Источники**

1. А.В. Клименко, В.М. Зорина «Теплоэнергетика и теплотехника» 3-е издание, переработанное и дополненное, МЭИ, Москва, 2003. 37–201 с.

УДК 621.311

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МКД ПО ТЕХНОЛОГИИ «УМНЫЙ ДОМ»**

А.Р. Закиров

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Ю.В. Абасев

ФГБОУ «КГЭУ», г.Казань, Россия

com

В статье рассматриваются основные возможности системы «умный дом», их возможности, преимущества и недостатки, приводятся примеры их применения, а также разбираются вопросы эффективности и использования данной системы при энергосбережении.

**Ключевые слова:** система «умный дом», энергосбережение, автоматизация, выбор системы, экология.

# DEVELOPMENT OF POWER SUPPLY SYSTEMS AND AUTOMATION OF MKD PROCESSES USING THE "SMART HOUSE" TECHNOLOGY

A.R. Zakirov

KSPEU, Kazan, Russia

azakirov21@gmail.com

The article discusses the main features of the "smart home" system, their capabilities, advantages and disadvantages, provides examples of their application, and also analyzes the issues of efficiency and use of this system in energy saving.

**Keywords:** smart home system, energy saving, automation, system selection, ecology.

В настоящее время технологии умного дома становятся все более распространенными, и многие люди уже начали использовать их в своих домах. Однако, когда речь идет о многоквартирных жилых домах, умный дом может быть еще более полезным, так как он позволяет сделать жизнь жильцов более комфортной и безопасной, а также повысить энергоэффективность здания в целом.

Система умный дом в многоквартирном жилом доме может включать в себя различные устройства и технологии, такие как системы умного освещения, управления климатом, безопасности и многое другое. Все эти устройства могут быть объединены в одну систему, которая будет контролироваться с помощью смартфона или планшета [1].

Одним из важных элементов системы умного дома является система умного освещения. Эта система позволяет контролировать освещение в квартире, регулировать яркость и температуру света, также управлять освещением с помощью голосовых команд. Кроме того, система умного освещения может быть интегрирована в систему безопасности, что позволит включить свет при движении или звук в квартире [2].

Система умного климата является еще одним важным элементом умного дома. Она позволяет управлять температурой и влажностью в квартире, а также контролировать вентиляцию. Кроме того, система умного климата может быть интегрирована в систему безопасности, что позволит выключить кондиционер автоматически при открытии окна [2].

Система умной безопасности является еще одним важным элементом умного дома. Она может включать в себя камеры видеонаблюдения, датчики движения, датчики дыма и многое другое. Эти устройства могут быть связаны в единую систему, которая позволит получать уведомления о

происходящем в квартире и контролировать доступ к зданию.

Другим важным элементом системы умного дома является система умного энергоуправления. Эта система позволяет контролировать потребление электроэнергии в здании, автоматически выключать ненужное освещение и климатическое оборудование, а также управлять энергоэффективностью здания в целом. Таким образом, система умного энергоуправления может помочь снизить затраты на электроэнергию и сделать здание более экологически чистым.

Кроме того, система умного дома может включать в себя устройства управления умными зеркалами, умными телевизорами и другими устройствами в квартире, что позволяет удобно управлять ими с помощью смартфона или планшета.

В целом, система умный дом в многоквартирном жилом доме может значительно повысить комфорт и безопасность жизни жильцов, а также сделать здание более энергоэффективным. Кроме того, установка такой системы может увеличить стоимость недвижимости и привлечь больше покупателей или арендаторов.

Также следует отметить, что система умного дома может иметь различные уровни сложности и функциональности, которые зависят от потребностей жильцов и возможностей здания. Некоторые системы могут включать в себя только базовые функции, такие как управление освещением и климатическими устройствами, а другие могут быть более сложными и включать в себя управление безопасностью, умные замки, системы видеонаблюдения и т.д.

При выборе системы умного дома для многоквартирного жилого дома, следует учитывать такие факторы, как количество квартир в здании, конфигурация здания, типы устройств, которые нужно управлять, и бюджет на установку и обслуживание системы. Некоторые системы могут быть более подходящими для больших зданий, а другие - для небольших квартирных комплексов [3].

Однако, независимо от того, какая система будет выбрана, важно обеспечить правильную установку и настройку, чтобы система работала надежно и безопасно. Это может включать в себя обучение жильцов использованию системы, регулярное обслуживание и проверку работы системы, а также обеспечение защиты информации и сети.

Умные системы домашней автоматизации могут помочь сократить расходы на коммунальные услуги за счет более эффективного использования энергии. Например, умная система может контролировать использование света и тепла в общих зонах, и переключать их на более



энергоэффективные режимы, когда никто не находится в здании.

Система умный дом в многоквартирном жилом доме является перспективным и инновационным направлением в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Она может значительно улучшить качество жизни жильцов, сократить расходы на коммунальные услуги, а также повысить эффективность управления жилым комплексом.

Разработка системы умного дома в многоквартирном жилом доме может быть сложной задачей, которая требует сотрудничества различных специалистов, таких как инженеры, программисты, специалисты по энергоэффективности, а также представители управляющей компании и жильцов.

Важной частью разработки системы умного дома является интеграция с существующими инфраструктурами и системами жилого комплекса. Например, система умного дома должна быть совместима с системами безопасности и противопожарной защиты, а также с системами контроля доступа и учета расходов на коммунальные услуги.

Одним из ключевых компонентов системы умного дома является централизованная система управления. Она должна обеспечивать контроль и управление всеми устройствами в жилом комплексе, а также предоставлять жильцам и управляющей компании доступ к информации о потреблении ресурсов и управлении устройствами.

Интеграция системы умного дома в многоквартирный жилой комплекс может принести множество преимуществ для жильцов, управляющей компании и окружающей среды.

### **Источники**

1. Черняк, А. А. Система «Умный дом» / А. А. Черняк. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 52 (342). — С. 51-53.

2. Е.А. Тесля. «Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире / Тесля Е.А. – Санкт Петербург, 2008. - 224с.

3. В.Н. Харке «Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникаций в жилищном строительстве» / Харке В.Н. - М.: Техносфера, 2006. - 292с.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖИДКОСОЛЕВЫХ РЕАКТОРОВ

А.Э. Залаев

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» А.И. Минибаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

ajrat.zalaev@bk.ru

В статье рассмотрены различные типы жидкосольевых реакторов (ЖСР). Их преимущества и недостатки по сравнению с твердопливными реакторами.

**Ключевые слова:** жидкосольевой реактор, минорные актиноиды, уран-ториевый цикл.

## PROSPECTS FOR THE OPERATION OF MOLTEN SALT REACTORS

A.E. Zalaev

KSPEU, Kazan, Russia

ajrat.zalaev@bk.ru

The article discusses various types of molten salt reactors (MSR). Their advantages and disadvantages in comparison with solid fuel reactors.

**Keywords:** molten salt reactor, minor actinoids, the uranium-thorium cycle.

Из-за растущих потребностей в электроэнергии и проблем с уменьшением углеродного следа, роль атомной энергетики растет из года в год. Вследствие чего необходим постепенный переход с одного поколения реакторных установок (РУ) на последующие, имеющие большую экологичность и безопасность. Жидкосольевой реактор – единственный реактор на жидком топливе, выбранный Международным форумом реакторов – «Поколение-IV», так как является РУ способной закрыть ядерный топливный цикл [1].

ЖСР назван реактором «Поколения-IV» благодаря некоторым преимуществам по сравнению с твердопливными РУ. Жидкосольевой реактор имеет низкое давление в первом контуре, высокий уровень безопасности, возможностью удаления и прибавления топлива без остановки самого реактора. Благодаря последнему свойству, в РУ возможно достижение ториевого топливного цикла, так как, в отличии от

традиционных реакторов, есть возможность постоянного удаления нейтронных ядов.

Существует 4 основных вида ЖСР:

- ЖСР-размножитель с тепловым спектром (MSBR);
- ЖСР-сжигатель с тепловым спектром;
- ЖСР-размножитель на быстрых нейтронах (MSFR);
- ЖСР-сжигатель на быстрых нейтронах.

ЖСР-размножители с тепловым спектром, подобно быстрым реакторам с твердым теплоносителем, имеет положительный коэффициент воспроизводства, что позволит увеличить компанию топлива, либо использовать полученное U-233 (в Th/U3 цикле), в качестве топлива для других реакторов. Срок наработки урана составляет 10-20 лет [2].

MSFR имеет лучший, по сравнению с MSBR коэффициент воспроизводства и температурный коэффициент реактивности, что обеспечивает лучший КПД [3] и высокую безопасность. Для достижения тех же значения коэффициент реактивности, в тепловом ЖСР добавляют Ер, что в свою очередь ухудшает нейтронный поток. В свою очередь, у быстрых реакторов есть проблемы с конструкционными материалами, так как топливные соли и высокий нейтронный поток не позволяет использовать обычные материалы [4].

Реакторы-сжигатели предназначены для сжигания высокоактивных отходов, например минорных актиноидов (МА). На сегодняшний день, концепция с быстрыми реакторами является более эффективной, так как имеет лучший коэффициент трансмутации МА и Pu, чем тепловые. В России, на базе Горно-химического комбината началось строительство опытно-демонстрационный центр, предназначенного для замыкания топливного цикла при помощи ЖСР-сжигателя на быстрых нейтронах.

При сравнении экономических затрат на строительство ЖСР и традиционных реакторов, то ЖСР являются более экономичными. Для их производства не нужно дорогостоящих оболочек, возможность использования тория, являющимся более дешевым ресурсом по сравнению с ураном, способность перерабатывать сильно выгоревшее топливо (ТВЭЛ ВВЭР 1000/1200).

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что жидкосолевой реактор – это следующая ступень эволюции реакторостроения, что обусловлено более высокой системой естественной безопасности, высоким КПД, лучшими экономическими показателями. Возможность трансмутации МА позволяет атомной энергетике достичь замкнутого ядерного топливного цикла, следовательно обезопасить природу от

радиационного заражения.

### **Источники**

1. Яковлев Р.М., Обухова И.А. На пути к безопасной атомной энергетике биосфера // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2017. Т. 9, № 2. С. 123-135.

2. О. Ашраф, Г.В. Тихомиров. Жидкосолевые реакторы с тепловым и быстрым спектром для трансмутации минорных актиноидов // Глобальная ядерная безопасность, 2020 № 4(37), С. 68-81

3. Mitachi K., Yamamoto T., Yoshioka R. Performance of a 200 MWe molten salt reactor operated in thorium-uranium fuel-cycle // Atomic Energy Society of Japan, Tokyo (Japan). 2005

4. О. Ашраф. Расчетные характеристики топливных циклов в жидкосолевых реакторах: автореф. ... дис. кандидат техн. наук: 05.14.03. Москва, 2021, С. 43-45

УДК 621.311.22

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ АЭС С РЕАКТОРОМ ТИПА ВВЭР**

Г.В. Зарипова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Р.Н. Закиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gulia.zaripova2001@gmail.com

В работе определена основная задача технического водоснабжения, представлены и описаны три структурные схемы охлаждения циркуляционной воды на атомных электрических станциях с реакторами типа ВВЭР. Описана методика расчета эффективности схем на основании рабочих параметров установок. Выделен основной критерий оценки эффективности работы схем охлаждения, и, на его основании, выбрана одна наиболее эффективная схема технического водоснабжения.

**Ключевые слова:** техническое водоснабжение, пруд-охладитель, градирня, атомные электрические станции, определение эффективности.

# SELECTION OF THE OPTIMUM SCHEME OF TECHNICAL WATER SUPPLY FOR NPP WITH VVER TYPE REACTOR

G.V. Zaripova

KSPEU, Kazan, Russia

gulia.zaripova2001@gmail.com

The paper defines the main task of technical water supply, presents and describes three structural schemes for cooling circulating water at nuclear power plants with VVER-type reactors. A technique for calculating the efficiency of circuits based on the operating parameters of installations is described. The main criterion for evaluating the efficiency of cooling schemes is singled out, and, on its basis, one of the most efficient schemes for technical water supply is selected.

**Keywords:** technical water supply, cooling pond, cooling tower, nuclear power plants, efficiency determination.

Тема является актуальной, так как ядерная энергетика развивается интенсивно. В настоящее время Госкорпорация «Росатом» занимается строительством АЭС не только в России, но и за рубежом.

Основная задача технического водоснабжения - охлаждение конденсаторов турбин. В зимний период техническое водоснабжение не нагружено, большая часть воды затрачивается в летний период, так как через конденсатор пропускается весь пар. Повышение эффективности работы технического водоснабжения является одной из самых главных задач работы персонала.

На АЭС, по сравнению с ТЭЦ, водопотребление больше. В техническом водоснабжении атомных электрических станций циркуляционная вода возвращается в источник с минимальными потерями, поэтому требуется обеспечить допустимые выбросы вредных веществ. Данные требования регламентируются двумя основными документами: «Правила охраны поверхностных вод» и «Методические указания по расчету предельно допустимых тепловых сбросов в водоемы-охладители атомных электростанций» [1]. Выбор типа водоснабжения происходит на этапе проектирования АЭС.

Авторы статьи [2] рассмотрели 3 варианта схем: пруд-охладитель; пруд-охладитель и градирня, при последовательном их включении; пруд-охладитель и градирня при параллельном включении, и сделали вывод, что наиболее эффективная схема охлаждения циркуляционной воды является схема с последовательным включением градирни и пруда-охладителя.

Для оценки эффективности схем сравниваются температуры в точке смешения - схема с параллельным включением градирни и пруда-охладителя, и температуры после пруда-охладителя - последовательная схема.

Проведено исследование на выбор рациональной схемы технического водоснабжения охлаждения циркуляционной воды на атомных электрических станциях с реакторами типа ВВЭР. Основным показателем эффективной работы технического водоснабжения для охлаждения циркуляционной воды является температура воды на выходе из охлаждающего устройства. Экономически выгодной является та температура, которая ближе к минимально допустимой. Она определяется расчетным путем по температуре наружного воздуха и нагреву циркуляционной воде в конденсаторе.

Анализ проводим по трем схемам: пруд-охладитель; пруд-охладитель и градирня, при последовательном их включении; пруд-охладитель и градирня при параллельном включении.

Описание схемы №2: вода предварительно охлаждается в градирне и только потом сбрасывается в пруд-охладитель, при этом температура за прудом-охладителем меньше. Это позволяет понизить температуру воды сброса, тем самым уменьшить тепловое загрязнение водоема.

Описание схемы №3: вода из градирни поступает напрямую в конденсатор, обходя пруд-охладитель. Это приводит к уменьшению забора воды из водоема.

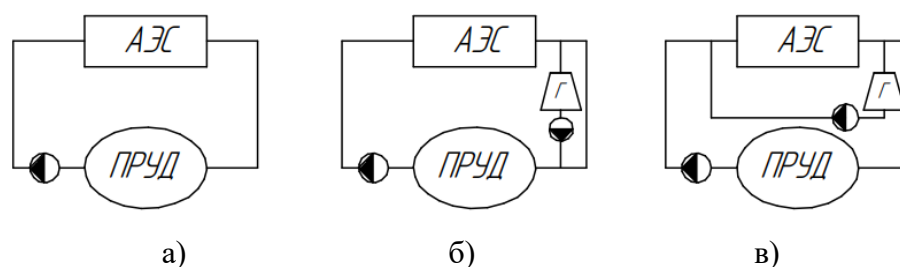


Рис. Схемы технического водоснабжения при охлаждении циркуляционной воды: а) в пруду-охладителе; б) в пруду-охладителе и градирни при последовательном их включении; в) в пруду-охладителе и градирни при параллельном их включении.

Для сравнения в качестве исходных данных принимались: плотность орошения градирни  $q_r, \left[ \frac{\text{м}^3}{(\text{м}^2/\text{сут})} \right]$ , удельная плотность пруда-охладителя  $f_{уд}, \left[ \text{м}^2 / \left( \frac{\text{м}^2}{\text{сут}} \right) \right]$ , нагрев циркуляционной воды в конденсаторе  $\Delta t_{цв}, [^\circ\text{C}]$ ,

количество воды, проходящей через градирню  $\alpha_{гр}$ .

Определение эффективности схем начинается с определения параметров теплоносителя на выходе из градирни  $t_{1В}^{гp}$ , [°C]. Далее определяются значения энтальпии  $h_{см}$ , [кДж/кг] и давления  $P_{см}$ , [МПа] в точке смешения. По полученной энтальпии с помощью [3] находится температура воды в точке смешения  $t_{см}$ , [°C]. Поскольку допустимая температура циркуляционной воды зависит от температуры окружающего воздуха, то нагрев воды в конденсаторе определяется для каждого месяца. И в зависимости от этой температуры, определяется расчетная температура воды на выходе из пруда-охладителя для каждого месяца.

Используя методику расчетов [2] был выполнен расчет для выбора оптимальной схемы технического водоснабжения для энергоблока с реактором ВВЭР-1200.

Результаты авторов [2] подтверждаются проведенными расчетами. Оптимальной схемой технического водоснабжения является схема №2. Низкая температура циркуляционной воды в конденсаторе, позволяет создать более глубокий вакуум, что в свою очередь позволяет получить больше мощности в последней ступени турбины.

### **Источники**

1. Кякк В.А. Обоснование компоновки охладителей системы технического водоснабжения Калининской АЭС по условиям соблюдения норм на температурный режим водоемов-охладителей // РЖ 19л. Технология неорганических веществ и материалов. 2004. – №. 12. – С. 50-54.

2. Ростунцова И.А., Бурмистров Н.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ //Научно-технические проблемы совершенствования и развития газотеплоэнергоснабжения. 2019. – №1. – С. 122-129.

3. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1980.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАНОЛАМИННОГО ВОДНОГО РЕЖИМА ВТОРОГО КОНТУРА АЭС С ВВЭР-1000

К.В. Зотова, Е.Г. Ухалова  
Науч. рук. А.Б. Ларин  
ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново  
antonim37@mail.ru

В статье приведены результаты анализа состояния аммиачно-этанолминового водно-химического режима второго контура энергоблоков №1 и №3 Калининской АЭС, выполненных по традиционной тепловой схеме (Блок №1) и по схеме со сбросом пара деаэратора в систему подогревателей низкого давления (Блок №3). При расположении подогревателей после БОУ и в условиях присоса воздуха, содержащего  $O_2$  и  $CO_2$ , исключается возможность удаления связанной углекислоты из конденсатного тракта, что приводит к увеличению скорости коррозии сталей конденсатно-питательного тракта.

**Ключевые слова:** этаноламин, аммиак, водно-химический режим второго контура, химический контроль, коррозия конденсатно-питательного тракта.

## STUDY OF THE ETHANOLAMINE WATER REGIME OF THE SECOND CIRCUIT OF NPP WITH VVER-1000

K.V. Zotova, E.G. Ukhalova  
FGBOU VO "ISPU", Ivanovo  
antonim37@mail.ru

The article presents the results of the analysis of the state of the ammonia-ethanolamine water-chemical regime of the second circuit of power units No. 1 and No. 3 of the Kalinin NPP, made according to the traditional thermal scheme (Unit No. 1) and according to the scheme with the discharge of deaerator steam into the system of low pressure heaters (Unit No. 3). When the heaters are located after the BOU and under the conditions of suction of air containing  $O_2$  and  $CO_2$ , the possibility of removing bound carbon dioxide from the condensate path is excluded, which leads to an increase in the corrosion rate of the steels of the condensate-feed path.

**Keywords:** ethanolamine, ammonia, water chemistry of the secondary circuit, chemical control, corrosion of the condensate-feed duct.



В настоящее время на большинстве энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 России реализуется аммиачно-этаноламиновый водный режим второго контура [1]. В условиях замены материала трубок конденсаторов паровых турбин на легированные стали или титановые сплавы основное назначение аммиака (NH<sub>3</sub>) и этаноламина (ЭТА) состоит в поддержании рН питательной воды в диапазоне 9,5-9,7 и «котловой воды» солевого отсека – 9,2-9,6 единиц рН [2]. Концентрация аммиака в питательной воде должна быть на уровне 1500 мкг/дм<sup>3</sup> и более, ЭТА – 400-600 мкг/дм<sup>3</sup>. Преимуществом такого водно-химического режима (ВХР) считается минимальная скорость коррозии стали конденсатно-питательного тракта, включая парогенератор, при сохранении высокой степени чистоты теплоносителя по показателю удельной электропроводности Н-катионированной охлажденной пробы ( $\chi_{Н}^{25} < 0,3$  мкСм/см).

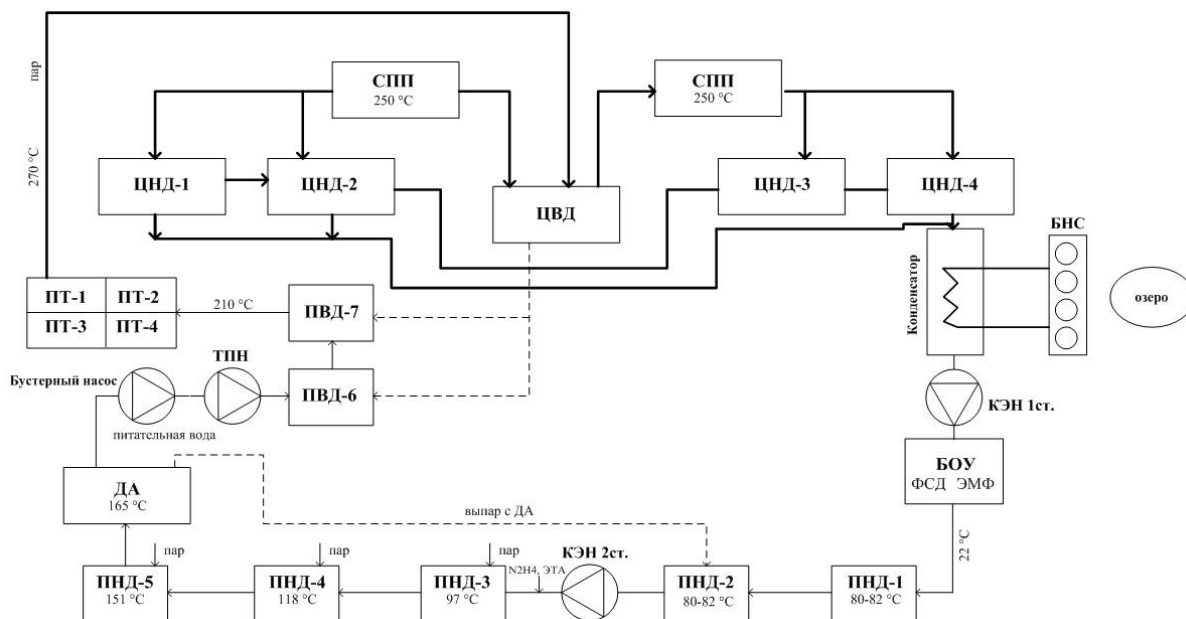
Данные химического контроля качества водного теплоносителя двух блоков Калининской АЭС приведены в таблице. Блок №1 обеспечивает нормативные значения рН дозировкой аммиака в питательную воду на уровне 1100-1200 мкг/дм<sup>3</sup>. Блок №3 работает без дозирования аммиака, минимальная концентрация которого обеспечивается дозировкой гидразина и повышенных дозировок ЭТА, что не позволяет поддерживать рН конденсатно-питательного тракта на оптимальном уровне.

Таблица

Результаты химических анализов контроля показателей ВХР второго контура по водопаровому тракту АЭС

Точки контроля	Блок №1				Блок №3			
	$\chi_{Н}$ , мкСм/см	рН	ЭТА, мкг/дм <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	$\chi_{Н}$ , мкСм/см	рН	ЭТА, мкг/дм <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>
КЭН-1	0,210	9,45	-	-	0,29	8,72	0,32	< 40
ПВД	0,206	9,47	0,90	1117	0,27	9,08	1,15	56
ПГ, с/о	0,785	9,58	6,06	< 40	0,82	9,58	5,21	< 40
Пар ПГ	0,202	9,47	-	-	0,27	9,21	1,77	< 40

Отклонения качества питательной воды Блока №3 могут быть отнесены, в первую очередь, к изменению тепловой схемы (см. рисунок), исключаящей деаэрацию дренажей пара в конденсаторе и очистку их с потоком конденсата на БОУ.



Принципиальная тепловая схема Блока №3 Калининской АЭС

Как видно из таблицы, при аммиачно-этаноламиновом ВХР наблюдается малая концентрация аммиака в котловой воде парогенераторов солевого отсека (ПГ, с/о) блоков №1,3, при значительном накоплении ЭТА ( $5-6 \text{ мг/дм}^3$ ), что позволяет поддерживать оптимальные значения рН котловой воды. Значения рН конденсатного тракта Блока №3 находятся на уровне: 8,5-9,1 (до деаэратора), питательного тракта – 9,0-9,1 (от деаэратора до ПГ) и 9,1-9,2 в паре парогенераторов, что ниже рекомендуемых норм. Кроме того, наблюдаются повышенные значения удельной электропроводности ( $\chi_{\text{H}}$ ) по точкам контроля пароводяного тракта, которые приближаются к допустимому пределу, а также повышенные концентрации кислорода (до  $100 \text{ мкг/дм}^3$ ) в конденсатном тракте и железа (до  $5-7 \text{ мкг/дм}^3$ ) в питательной воде.

По данным химического контроля можно сделать вывод, что водно-химический режим второго контура энергоблока №3 не обеспечивает требуемых показателей качества теплоносителя, что объясняется присосами  $\text{CO}_2$  с воздухом в тракт ПНД, возвратом в тракт кислых продуктов термолитиза органических веществ, в том числе в форме уксусной и муравьиной кислот и невозможностью удаления их на ФСД БОУ, а также малыми дозировками аммиака (менее  $100 \text{ мкг/дм}^3$ ). Концентрация железа в питательной воде превышает рекомендуемые нормы и существенно больше, предписываемых ВНИИ АЭС для аммиачно-этаноламинового ВХР (менее  $2 \text{ мкг/дм}^3$ ).

## Источники

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

2. СТО 1.1.1.7.003.0818-2016. Водно-химический режим второго контура АЭС с ВВЭР-1000. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения.

УДК 621.039.5

## МАЛЫЕ МОДУЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ

Ф.Ф. Иксанов

Науч. рук. асс. О.Е. Бабиков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

fanis.iksanov.03@mail.ru

В статье рассматриваются основные задачи на ближайшие десятилетия по разработке и внедрения электростанций достаточной мощности и гибкости для удовлетворения растущего спроса при одновременном снижении выбросов.

**Ключевые слова:** ядерный реактор, электрическая мощность, модульные реакторы, производство электроэнергии.

## SMALL MODULAR REACTORS

F.F. Iksanov

KSPEU, Kazan, Russia

fanis.iksanov.03@mail.ru

The paper considers the main objectives for the next decades in the development and implementation of power plants of sufficient capacity and flexibility to meet the growing demand for while reducing emissions.

**Keywords:** nuclear reactor, electric power, modular reactors, power generation.

Малые модульные реакторы (ММР) — это усовершенствованные, относительно небольшие реакторы [1], которые могут быть изготовлены на заводах и доставлены на любую рабочую площадку.

Электрическая мощность ММР составляет менее 300 МВт, а тепловая мощность – менее 1000 МВт [2]. Модульные реакторы позволят

сократить объем строительства на площадке, повысить эффективность защитной оболочки и улучшить безопасность. Повышение безопасности будет достигнуто за счет применения в конструкции концепций пассивной безопасности, которые уже присутствуют в некоторых обычных реакторах.

На сегодняшний день на разных этапах разработки находятся по меньшей мере 75 концепций ММР (МАГАТЭ), что на 40 % больше, чем в 2018 году (МАГАТЭ, 2018).

Благодаря своим небольшим размерам и современной технологии проектирования, эти реакторы имеют ряд важных преимуществ. Самое важное из них – безопасность. Риск повреждения в результате землетрясений и других стихийных бедствий очень низок. В случае аварии риск выброса радиоактивных материалов также очень низок. Это связано с такими конструктивными особенностями, как малая мощность реактора и низкое внутреннее давление. Поэтому реакторы ММР не имеют серьезных недостатков, которые присущи традиционным атомным электростанциям.

Некоторые типы ММР могут работать до 30 лет без замены топливных элементов. Кроме того, они практически не производят ядерных отходов. Еще одним важным преимуществом является то, что они могут быть безопасно остановлены и перезапущены в любое время.

К преимуществам ММР относятся:

1) Улучшенная безопасность и надежность [3]. Низкая тепловая мощность активной зоны, компактная конструкция и пассивная концепция имеют потенциал для повышения безопасности и надежности по сравнению с более ранними конструкциями и более крупными коммерческими реакторами. Пассивные системы безопасности являются очень важным элементом безопасности в ядерных реакторах. Поэтому для предотвращения аварий меньше полагаются на активные системы безопасности и дополнительные насосы. Эти пассивные системы безопасности могут отводить тепло даже в случае отказа внешнего источника питания.

2) Модульность. Это ограничивает подготовительные работы на площадке и сокращает время строительства. Это очень важно, так как длительные сроки строительства являются одной из самых больших проблем для крупных атомных электростанций.

3) Сроки строительства и финансирование. Размер, эффективность конструкции и пассивные системы безопасности (требующие меньшего резервирования) могут сократить капиталовложения для строительства атомных электростанций за счет снижения стоимости монтажа. Собственное производство ключевых компонентов ядерной установки

может значительно сократить время подготовки площадки и строительства, а это значит, что финансирование может быть выгоднее, чем для более крупных станций [4].

К основным недостаткам относятся:

1. Небольшая мощность единичной энергоустановки. Хотя размеры ММР, несомненно, дают дополнительные преимущества, очевидно, что они не могут вырабатывать столько же электроэнергии, сколько обычные атомные электростанции. Типичная генерирующая мощность ММР оценивается менее чем в 300 МВт. Однако ММР не предназначены для использования в качестве основного источника энергии.

2. Лицензирование. Очень важным препятствием является лицензирование новых реакторов. Например, для регулирования проектирования, размещения, строительства и эксплуатации новых коммерческих атомных электростанций в настоящее время использует комбинацию требований регулирования, лицензирования и мониторинга. Исторически сложилось так, что процесс лицензирования был разработан для крупных коммерческих реакторов. Процесс лицензирования новых реакторных проектов является длительным и дорогостоящим.

Делая вывод из всего вышесказанного, можно сказать, что ядерная энергетика и будущее человечества, несомненно, связаны. В конце концов, наша цель – установить более гармоничные отношения между растущими энергетическими потребностями нашей цивилизации и возможностями, которые предлагает планета Земля. Ядерная энергия, несомненно, является необходимым компонентом более чистой энергетической системы. И в ближайшем будущем ММР может стать ее основой. В области развития малых модульных реакторов (ММР) достигнут значительный прогресс, необходимый для их превращения к началу 2030-х годов в коммерчески перспективный продукт, предлагаемый ядерной энергетикой.

### **Источники**

1. Развитие и экономика ядерных технологий 2021. Малые модульные реакторы: проблемы и перспективы. Агентство по ядерной энергии. Организация экономического сотрудничества и развития.

2. «Текущее состояние, техническая осуществимость и экономические показатели малых ядерных реакторов» (Current Status, Technical Feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors) (АЯЭ, 2011) доклад Агентства по ядерной энергии (АЯЭ) при ОЭСР.

3. «Малые модульные реакторы: потенциал внедрения на рынке ядерной энергии в краткосрочной перспективе» (Small Modular Reactors:

Nuclear Energy Market Potential for Near-Term Deployment) (АЯЭ, 2016).

4. Клер А М, Санеев Б Г, Соколов, А Д, Тюрина Э А, 2000 «Перспективы развития новых технологий производств и транспорта энергии» В кн. Беляев Л С, Санеев Б Г, Филиппов С П «Системные исследования проблем энергетики» под ред. Воропая Н И (Новосибирск: Наука) 135–144

УДК 628-16

## МЕТОДЫ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭС

Н.С. Иркешев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.В. Евгеньев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nailyougetting.01@gmail.com

В статье обзревается проблема эффективности водоподготовки на ТЭС. В современном мире рыночной экономики, где ключевым фактором является экономичность, на первый план выходят методы водоподготовки способные отвечать, как техническим, так и материальным требованиям.

**Ключевые слова:** водоподготовка, реагент, водяная фильтрация, глубокая очистка, энергоэффективность.

## METHODS OF WATER TREATMENT AT TPP

N.S. Irkeshev

KSPEU, Kazan, Russia

nailyougetting.01@gmail.com

The article reviews the problem of the efficiency of water treatment at thermal power plants. In the modern world of a market economy, where efficiency is a key factor, water treatment methods capable of meeting both technical and material requirements come to the fore.

**Keywords:** water treatment, reagent, water filtration, deep purification, energy efficiency.

Для каждого энергетического объекта начиная от теплоэлектростанции заканчивая городской котельной степень очистки воды может отличаться, в статье рассмотрены методы водоподготовки на ТЭС.

Водоподготовка или же очистка воды подразумевает комплекс этапов, которые идут непосредственно в строгом порядке друг за другом. Как правило устанавливают систему фильтров. Изначально в ход идут механические фильтры очистки, представляющие собой как, правило фильтры с сеткой, с последующим уменьшением сечения каждой последующей сетки.

Далее вода, прошедшая «грубую» очистку, проходит стадию умягчения. Самым полномасштабным распространением по всей стране получила технология химического обессоливания, основанная на базе отечественных проточных ионных фильтров [1]. Следует отметить, что есть случаи, когда воду имеющая высокую минерализацию, куда эффективней очищать термическим обессоливаем, данный метод встречается куда реже, нежели способ ионного обмена [2]. Существует также весьма эффективный способ очистки воды, способный очистить воду взятую из состояния загрязненности, до параметров питьевой воды, без применения каких-либо химических реакций, тем самым являясь самым экономичным и одним из самых дорогих методов очистки, это баромембранные установки [3]. Если же сравнивать экономическую эффективность обессоливания воды ионным обменом и обратным осмосом показало, что при большом солесодержании обратный осмос экономичнее даже ионных фильтров [4]. Обратный осмос представляет собой, принцип, когда вода, проходящая через полупрозрачную мембрану, размер которой составляет до 0,0001 микрона, очищается до питьевых стандартов [5].

Так как в воду добавляются химические реагенты, а некая часть воды сбрасывается в канализацию, состав данной воды необходимо скорректировать до нормы, установленной СанПиНом для этого используют «осветительные» фильтры способные скорректировать состав сточных вод и рабочей воды. Техническую воду необходимо очищать от органических примесей, коими являются бактерии, вирусы, запахи и цвет [6].

Последнее от чего нужно очистить рабочую воду-это газы. Необходимо установить систему декарбонизации, которая представляет собой насосный ряд, эжектора, баки с очищенной и рабочей водой, деаэратор играет ключевую роль в данной системе.

Растворенные газы способны вести себя весьма агрессивно по отношению к трубопроводам и причинять большой ущерб, создавая излишнюю необходимость в остановке работы предприятий для аварийного ремонта. Ведь газы, растворенные в воде способны принимать различные формы, для того чтобы высвободить газы из воды, нужна деаэрационная колонна, представляющая ключевую роль в деаэраторе, с ее помощью воду

удаётся очистить от коррозионноактивных газов разделяя на очищенную воду, которая направляется в аккумулирующую емкость и паровоздушную смесь, которая высасывается с помощью эжекторов.

### **Источники**

1. Ходырев Б.Н., Кривчевцов А.Л., Соколюк А.А. Исследование процессов окисления органических веществ в теплоносителе ТЭС и АЭС // Теплоэнергетика. 2010. С. 11-16.

2. СО 153-34.20.501-2003 (РД 34.20.501-95). Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв. Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 19 июня 2003 г. № 229. - М.: СПО ОРГРЭС, 2003.

3. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – Изд. 2-е. – М: Издательство МГУ, 1996. – 680 с .

4. Проектные решения водоподготовительных установок на основе мембранных технологий / А.А. Пантелеев, Б.Е. Рябчиков, А.В.Жадан и др. // Теплоэнергетика. 2012. № 7. С. 30-36

5. Водоподготовка для ТЭС [Электронный ресурс] / Водоподготовка для ТЭС. – Режим доступа: <https://diasel.ru/article/vodopodgotovka-dlya-tes>. – Дата доступа: 22.03.2022

6. Водоподготовка / В.Ф. Вихрев, М.С. Шкроба. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М: Издательство «Энергия», 1973. – 416 с.

УДК 620

## **АДСОРБИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭЦ**

Р.Ф. Камалиева<sup>1</sup>, А.Ю. Власова<sup>2</sup>

Науч. рук. док. техн. наук, доцент А.А. Филимонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>truzzi@yandex.ru, <sup>2</sup>vlasovaay@mail.ru

В работе рассмотрены современные технологии и методы улавливания углекислого газа. А также на основе литературного обзора и патентного поиска подобраны адсорбирующие материалы, улавливающие газовую смесь, содержащую углекислый газ, для разработки технологии.

**Ключевые слова:** тепловые электростанции, адсорбция, улавливание, углекислый газ, адсорбенты.



# ADSORBING MATERIALS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE FROM FLUE GASES OF THERMAL POWER PLANTS

R.F. Kamaliev<sup>1</sup>, A.Y. Vlasova<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>rruzzi@yandex.ru, <sup>2</sup>vlasovaay@mail.ru

The paper considers modern technologies and methods of carbon dioxide capture. And also, based on the literature review and patent search, adsorbing materials that capture a gas mixture containing carbon dioxide were selected for the development of technology.

**Keywords:** thermal power plants, adsorption, capture, carbon dioxide, adsorbents.

Выбросы парниковых газов, содержащих большое количество углекислого газа, являются причиной изменения климата, в частности резкого повышения температуры. Главным «поставщиком» такого рода выбросов в атмосферу являются тепловые электрические станции и промышленные предприятия. Эффективным подходом к сокращению выбросов углекислого газа является принятие современных технологий удаления и захоронения оксидов углерода [1].

В России развиваются технологии полного удаления углекислого газа. На сегодняшний день политика декарбонизации реализуется технологиями использования материалов, частично улавливающих углекислый газ. Среди данных технологий следует выделить адсорбцию, абсорбцию, криогенное разделение, микроводоросли и мембранные технологии [2].

Адсорбционный метод улавливания основан на поглощении углекислого газа твердыми материалами – адсорбентами. Выбор адсорбентов зависит от селективности, адсорбционной способности, доступности, экономичности, механической прочности, химической стабильности, возможности регенерации и простоты использования [3]. В таблице 1 представлена сравнительная характеристика адсорбентов.

Таблица 1.

## Сравнительная характеристика адсорбирующих материалов

Адсорбент	Селективность	Адсорбционная способность	Возможность регенерации	Экономические затраты	Химическая стабильность
Оксид кальция	Высокая	Высокая	Умеренная	Низкие	Низкая
Синтетический цеолит	Низкая	Низкая	Низкая	Умеренные	Низкая
Активированный уголь	Низкая	Выше чем у цеолитов	Низкая	Низкие	Умеренная
На основе марганца	Высокая	Высокая	Умеренная	Умеренные	Низкая
На основе мезопористой металлорганической каркасной структуры	Низкая	Низкая	Низкая	Высокие	Умеренная
Карбид кремния с нанесением покрытия из оксида алюминия	Низкая	Выше чем у цеолита	Низкая	Низкие	Умеренная
Карбонат калия с нанесением покрытия из оксида алюминия	Низкая	Выше чем у цеолита	Низкая	Низкие	Умеренная

Таким образом, на основе проведенного анализа литературных данных наиболее подходящим адсорбентом для улавливания углекислого газа является оксид кальция, имеющий высокую адсорбционную способность и относительно низкие экономические затраты.

### Источники

1. Филимонова А.А., Власова А.Ю., Камалиева Р.Ф. Методы декарбонизации процесса получения электроэнергии в твердооксидном топливном элементе // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т. 24, №6. С. 72-82;

2. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Камалиева Р.Ф. Интеграция высокотемпературного топливного элемента с системой улавливания CO<sub>2</sub> в энергетический цикл тепловой электрической станции

// Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2022. Т. 65, №6. С. 562-571;

3. Gonzalez-Diaz A., Jiang, L., Roskilly, A. P., Smallbone, A. J. The potential of decarbonising rice and wheat by incorporating carbon capture, utilisation and storage into fertiliser production // Green Chemistry, The Royal Society of Chemistry. 2020. Issue 3.

УДК 620

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УЛАВЛИВАНИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АБСОРБИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Р.Ф. Камалиева<sup>1</sup>, А.Ю. Власова<sup>2</sup>

Науч. рук. док. техн. наук, доцент А.А. Филимонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>rruzzi@yandex.ru, <sup>2</sup>vlasovaay@mail.ru

В работе изучены современные технологии удаления оксидов углерода из дымовых газов и на основе литературного обзора и лабораторных экспериментов подобраны наиболее эффективные абсорбирующие материалы.

**Ключевые слова:** теплоэлектростанции, абсорбция, улавливание, углекислый газ, абсорбенты.

## ABSORBING MATERIALS FOR CARBON DIOXIDE CAPTURE FROM FLUE GASES OF THERMAL POWER PLANTS

R.F. Kamaliev<sup>1</sup>, A.Y. Vlasova<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>rruzzi@yandex.ru, <sup>2</sup>vlasovaay@mail.ru

The paper studies modern technologies for removing carbon oxides from flue gases and selects the most effective absorbent materials based on a literature review and laboratory experiments.

**Keywords:** thermal power plants, absorption, capture, carbon dioxide, absorbents.

По прогнозам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, к 2100 году содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере может достигнуть 570 частей на миллион, что приведет к повышению средней глобальной

температуры примерно на 2° С. Поэтому сокращение выбросов дымовых газов становится все более актуальной задачей для ТЭЦ [1].

В европейских странах, США, Китае в промышленном масштабе реализованы технологии с утилизацией CO<sub>2</sub> в термодинамическом цикле: Graz cycles, SCOC-CC, E-MATIANT, NET Power cycle, CES cycle, технологии CCUS, а также технологии, включающие в себя топливные элементы [2]. В России стремительно развиваются технологии по сокращению выбросов углекислого газа: абсорбция, адсорбция, мембранные технологии, криогенное разделение [3]. Они базируются на использовании материалов, частично улавливающих углекислый газ.

Таблица 1

Результаты лабораторных экспериментов

Абсорбент	Присутствующие ионы	Карбонатная щелочность, мг экв/мл	Бикарбонатная щелочность, мг экв/мл	Гидратная щелочность, мг экв/мл
Холостая проба	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	95	-
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 25%	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	84	-
Хеламин 1%	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	36	52
Аммиак 10%	OH <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	-	159
Ca(OH) <sub>2</sub> 6%	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	85	-
NaOH 10%	OH <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	-	-	75

Процесс абсорбции основан на поглощении CO<sub>2</sub> всем объемом жидкости – абсорбентом. На основании литературного обзора и патентного поиска для дальнейшего проведения лабораторных экспериментов были выбраны следующие абсорбенты:

1. Раствор карбоната натрия. Основными достоинствами являются доступность и экономичность реагента;

2. Аминовые соединения. Особенностью применения аминовой хемосорбции является высокая абсорбционная способность к поглощению углекислого газа, кислосернистых соединений, а также сероводорода;

3. Раствор гидроксида кальция. Основным недостатком применения соединений кальция является процесс регенерации, который происходит под воздействием высоких температур;

4. Раствор гидроксида натрия. Данный абсорбент характеризуется

высокой абсорбционной способностью и возможностью к регенерации, однако наравне с аминами является относительно дорогостоящим.

Лабораторные эксперименты проводились при температуре 25°C, газовая смесь, состоящая из воздуха и CO<sub>2</sub>, в соотношении 3:1, соответственно, продувалась через абсорбер в течении 4 мин. Углекислый газ подавался из баллона с расходом 0,4 л/мин. Результаты экспериментов сведены в таблицу 1.

Данные экспериментов показывают, что раствор аммиака 10% и раствор NaOH 10% наиболее эффективно улавливают углекислый газ.

### Источники

1. Филимонова А.А., Власова А.Ю., Камалиева Р.Ф. Методы декарбонизации процесса получения электроэнергии в твердооксидном топливном элементе // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022. Т. 24, №6. С. 72-82;

2. Praveen Bains, Peter Psarras, Jennifer Wilcox CO<sub>2</sub> capture from the industry sector // Progress in Energy and Combustion Science. 2017. Volume 63. Pages 146-172;

3. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Камалиева Р.Ф. Интеграция высокотемпературного топливного элемента с системой улавливания CO<sub>2</sub> в энергетический цикл тепловой электрической станции // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2022. Т. 65, №6. С. 562-571.

УДК 621.311

## ВОДОРОДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.И. Кириллина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Р.Н. Закиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Интерес к водородной энергетике в России вновь набирает обороты [1]. Правительством Российской Федерации приняты принципиальные стратегические решения о необходимости и целесообразности развития технологий водородной энергетики, разработаны и утверждены основополагающие документы, определяющие общие ориентиры, конкретные цели и задачи, стратегические инициативы, пилотные проекты и ключевые мероприятия по развитию водородной энергетики России на период до 2035 г. (и на перспективу до 2050 г.) [2].

**Ключевые слова:** водород, водородная энергетика, технология паровой конверсии метана, атомная энергетика.

# HYDROGEN ENERGY CYCLES OF NUCLEAR POWER PLANTS

V.I. Kirillina

KSPEU, Kazan, Russia

Interest in hydrogen energy in Russia is gaining momentum again [1]. The Government of the Russian Federation has made fundamental strategic decisions on the need and feasibility of developing hydrogen energy technologies, has developed and approved fundamental documents that define general guidelines, specific goals and objectives, strategic initiatives, pilot projects and key activities for the development of hydrogen energy in Russia for the period up to 2035. (and for the future up to 2050) [2].

**Keywords:** hydrogen, hydrogen power engineering, methane steam reforming technology, nuclear power engineering.

Согласно стратегии Госкорпорации «Росэнергоатом» водородной энергетике отдан приоритет в развитии атомной энергетике в России [3].

Производство водорода связано с большими удельными затратами. Энергия получается за счет сжигания ископаемого топлива – около половины используемого газа сжигается на факелах для реализации технологии паровой конверсии метана (далее – ПКМ). Реализация термохимических циклов требует значительных материальных затрат на получение водорода в связи с необходимостью доведения температуры порядка до 1000 К, что является причиной отдаленности перспектив масштабного использования водорода в энергетике. Использование ядерной энергии может решить этот вопрос. Технологии ядерной энергии обладают практически безграничными ресурсами дешевой энергии для производства водорода, кроме того атомная энергетика воздействует на окружающую среду в меньшей степени по сравнению с использованием углеродных ресурсов [4].

ПКМ является основным производственным процессом получения водорода в промышленных масштабах. Результатом использования технологии ПКМ с подводом тепла от высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (далее - ВТГР) является экономия природного газа и исключение загрязнения окружающей среды выбросами продуктов сгорания. Атомный энерготехнологический комплекс (далее - АЭТК), на котором применяется тандем ВТГР-ПКМ, открывает путь к крупномасштабному производству экологически чистого водорода.

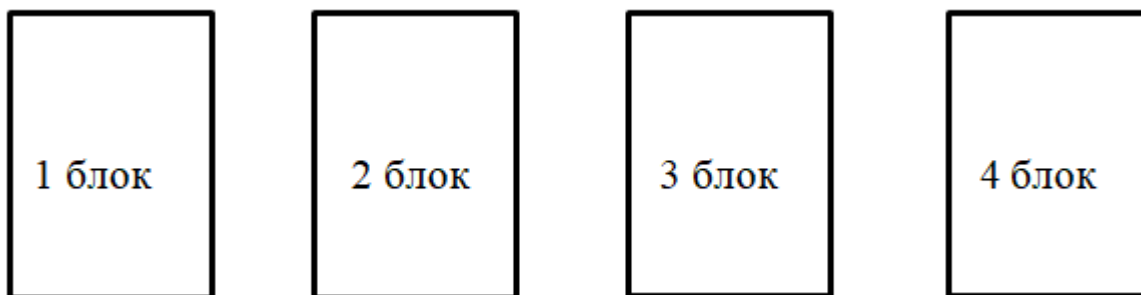


Рис. 1. Предсказуемая структура АЭС суммарной мощностью 800 МВт и производством водорода 440 тысяч тонн в год

Предлагаемая АЭТК состоит из четырехблочной атомной станции, включающую четыре реакторные установки (далее – РУ) с ВТГР, а также систем и сооружений установки, обеспечивающих работу РУ; химико-технологического производства на основе адиабатической конверсии метана (далее - АКМ) с получением водородосодержащих смесей и выделением водорода. При создании проекта АЭТК, реактора с перспективным получением водорода по новому методу АКМ применение перспективных, высокотехнологичных и технических решений обеспечивает научно-техническую новизну комплекса.

В России планируется запустить в 2035 году АЭТК, состоящую из четырех блоков, производство водорода на которой составит 440 тысяч тонн в год.

Создание вышеуказанной АЭТК заменит использование ископаемого топлива высокотемпературным теплом от ВТГР, благодаря чему будет осуществлено снижение потребления метана на 40% по сравнению с традиционными процессами и избежание выбросов продуктов его сгорания в атмосферу [5].

### Источники

1. Филиппов С. Топливные элементы и водородная энергетика / С. Филиппов, А. Голодницкий, А. Кашин // Энергетическая политика №11 (153) 2020;
2. Развитие и инновации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosenergoatom.ru/development/vodorodnaya-energetika/dokumenty/> (дата обращения: 01. 03.23);
3. Атомный водород [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://atomvestnik.ru/2022/12/26/atomnyj-vodorod/> (дата обращения: 01. 03.23);
4. Р.В. Радченко. Водород в энергетике: учеб. пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа. — Екатеринбург: Изд-во Урал.

ун-та, 2014. — 229 с.;

5. Н.Н. Пономарев-Степной. Атомный энерготехнологический комплекс с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами для масштабного экологически чистого производства водорода из воды и природного газа / Н.Н. Пономарев-Степной, С.В. Алексеев, В.В. Петрунин, Н.Г. Кодочигов, Л.Е. Кузнецов, С.А. Фатеев, Г.Н. Кодочигов // Газовая промышленность № 11 (777) 2018.

УДК 621.311

## СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ АЭС

А.Ч. Багаутдинов<sup>1</sup>, Д.С. Кириллов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Л.Р. Гайнуллина

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>2</sup>Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань, Россия

<sup>1</sup>baga-artur@mail.ru, <sup>2</sup>daniilkirillo@gmail.com

В статье изучены методы развития систем безопасности АЭС в свете технологического прогресса и необходимости обеспечения безопасности от угроз внешнего воздействия при производстве атомной энергии, которые имеют важное значение для развития других отраслей промышленности.

**Ключевые слова:** атомные электростанции, атомная энергетика, системы безопасности, искусственный интеллект, машинное обучение, системы автоматического управления, системы управления реакторами, система контроля параметров безопасности, автоматического управления технологическим процессом.

## SAFETY SYSTEMS OF MODERN NUCLEAR POWER PLANTS

A.Ch. Bagautdinov<sup>1</sup>, D.S. Kirillov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>2</sup>RDO Tatarstan, Kazan, Russia

<sup>1</sup>baga-artur@mail.ru, <sup>2</sup>daniilkirillo@gmail.com

The article examines the methods of development of NPP safety systems in the light of technological progress and the need to ensure safety from external threats in the production of nuclear energy, which are important for the development of other industries.

**Keywords:** nuclear power plants, nuclear power engineering, security systems, artificial intelligence, machine learning, automatic control systems, reactor control systems, safety parameter control system, automatic process control.



Защита АЭС от внешних угроз при помощи современных систем безопасности является очень актуальной задачей в свете технологического прогресса, большого количества ядерных стран с многочисленными претензиями друг к другу и вовлеченности в сферу ядерных объектов сотен тысяч специалистов и вспомогательного персонала. Последние факты значительно повышают уязвимость существующих систем защиты. Существующие системы защиты и автоматизации уже доказали свою эффективность в обеспечении безопасности, но новые технологии и подходы позволяют значительно повысить ее уровень.

Разработка и внедрение новых систем безопасности позволяет значительно повысить уровень защиты атомных электростанций, сократить риски для персонала и окружающей среды, а также уменьшить вероятность крупных аварий. Системы безопасности на атомных электростанциях постоянно развиваются и совершенствуются, назовем наиболее актуальные направления. Идея системы мониторинга на основе искусственного интеллекта и машинного обучения состоит в возможности предсказывать состояние и остаточный ресурс оборудования до возникновения аварийной ситуации [1]. Искусственная нейросеть постоянно самообучается, совершенствуясь для более точных прогнозов. Это может позволить автоматически распознавать аномальные ситуации и предотвращать возможные аварии и террористические угрозы. Следующее направление – разработка новых датчиков. Например, сейсмодатчики, регистрирующие колебания здания реакторной установки и участвующие в обеспечении аварийной остановки реактора при землетрясениях заданной интенсивности [2].

Росатом разрабатывает проекты АЭС с реакторами нового поколения, на которых применяются так называемые «пассивные» системы безопасности, или «системы естественной безопасности». В основе этих систем лежит действие сил тяжести, тепловая конвекция и т.п., что не требуют активного вмешательства персонала в случае каких-либо сбоев в работе энергетической установки. Такие реакторы невозможно вывести в режим неуправляемой цепной реакции деления [3]. Не менее важным аспектом является развитие систем управления реакторами (СУР) – современные СУР могут обеспечивать более точное управление реактором, а также автоматически реагировать на возможные нарушения в его работе. Разработка новых систем охлаждения также является приоритетом – новые системы охлаждения могут быть более эффективными и безопасными, что позволит предотвратить возможные перегревы и аварии. Например, система охлаждения водородом на АЭС

используется для охлаждения ядерного реактора путем циркуляции водорода через реакторный блок. Она обеспечивает высокую теплоотдачу и не загрязняет окружающую среду при возможных авариях. Для пожарной безопасности устанавливаются новые системы сигнализации и пожаротушения, что помогает автоматически обнаруживать и локализовывать возможные пожары на станции. Также, развитие систем обеспечения безопасности персонала может включать в себя более эффективные системы обучения и тренировок для операторов электростанций. Согласно данным Национального управления по ядерной безопасности США, в период с 1993 по 2019 год было зафиксировано 3 случая кражи ядерных материалов в США, но во всех случаях материалы были успешно изъяты правоохранительными органами. В 2019 году было зарегистрировано 33 инцидента, связанных с ядерным материалом, включая кражи, потери и нарушения безопасности. По данным Global Terrorism Database, с 1970 по 2019 год было зарегистрировано 70 атак, связанных с атомными установками. Большинство этих атак не были связанными с террористическими организациями, и не привели к серьезным последствиям, однако, системы безопасности этих предприятий оказались недостаточно совершенными.

Подводя итоги, хочется подчеркнуть, что применение новых систем защиты на атомных электростанциях действительно позволяет значительно повысить уровень безопасности и снизить риски возникновения разрушительных аварий. Они обеспечивают более быстрый и точный контроль над технологическим процессом на станции, а также предоставляют операторам более точную информацию о ее состоянии. Перспективы в развитии безопасности АЭС включают в себя дальнейшее улучшение технологий и применение их на существующих и новых электростанциях, поэтому этот непростой путь еще только предстоит пройти энергетикам. Внедрение новых систем на существующих станциях, а также на новых проектируемых атомных электростанциях, помогут обеспечить безопасность и эффективность работы станций на более высоком уровне, а также обеспечить дополнительную защиту окружающей среды и здоровья миллионов людей.

## **Источники**

1. Предотвратить аварии на АЭС поможет система мониторинга на основе искусственного интеллекта. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (официальный сайт) (Дата обращения:

26.02.2023). <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/nauka/49785/>

2. Борисов П.А. Сейсмодатчики для систем защиты реакторных установок АЭС / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2005. Пенза

3. Разработка проектов АЭС с реакторами нового поколения. Росатом (официальный сайт). (Дата обращения: 26.02.2023). <https://www.rosenergoatom.ru/development/innovatsionnye-razrabotki/razrabotka-proektov-aes-s-reaktorami-novogo-pokoleniya/>

УДК 620.92

## МОКРЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Б.Д. Князев

Науч. рук. асс. О.Е. Бабилов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Н

В данной статье рассмотрены современные технологии переработки отработанного ядерного топлива, а также основные идеи этой переработки и сложность данного процесса.

Е

**Ключевые слова:** атомные электрические станции, отработанное ядерное топливо, переработка.

Л

І

## WET TECHNOLOGIES FOR SPENT NUCLEAR FUEL PROCESSING

К

B.D. Knyazev  
KSPEU, Kazan, Russia  
mrdonda@vk.com

а

This article discusses modern technologies for the processing of spent nuclear fuel, as well as the main ideas of this processing and the complexity of this process.

**Keywords:** nuclear power plant, spent nuclear fuel, processing.

о

Ядерное топливо – вещество, которое используется в ядерных реакторах для осуществления цепной ядерной реакции деления. Ядерное топливо используется в герметично закрытых тепловыделяющих элементах ядерного реактора, обычно в виде таблеток размером в

94

п

д

а

несколько сантиметров. В качестве топлива в современных реакторах используется обогащенный уран. На данный момент переработкой отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) занимаются только в России, Великобритании, Франции и Японии.

Главными целями переработки отработавшего ядерного топлива являются: повторное использование некоторых элементов отработавшего топлива, снижение общего количества радиоактивных отходов, снижение использования природного урана. Но стоит сказать, что сам процесс переработки очень сложен и опасен, как для людей, так и для окружающей среды, поэтому переработка практикуется лишь в нескольких странах.

После того, как ядерное топливо определенное время использовалось на станции, оно всё еще остается крайне радиоактивным, продолжает распадаться, а также выделяет большое количество теплоты и содержит накопившиеся трансурановые элементы, изотопы плутония и радиоактивные осколки деления ядер. Отработавшее ядерное топливо сначала погружают в специальные бассейны, находящиеся на атомной станции, а затем выдерживают его там несколько лет. Только после длительной выдержки ОЯТ можно будет вывезти со станции для переработки или хранения.

ОЯТ в основном захоранивается. Например, в России для безопасного сухого хранения ОЯТ созданы специальные металлобетонные контейнеры, в которых можно хранить топливо более 50-ти лет или же производить транспортировку к месту постоянного хранения. Необходимость в переработке ОЯТ также появляется из-за того, что это топливо является ценным вторичным сырьем для получения компонентов ядерного топлива и целого ряда радиоактивных изотопов, которые в дальнейшем можно будет использовать в разных сферах жизни.

Переработка отработавшего ядерного топлива начинается с разделения и растворения тепловыделяющих элементов в азотной кислоте. Это мокрый метод переработки отработавшего ядерного топлива [1]. Суть метода заключается в том, что производят химическое разделение урана и плутония, которые могут быть возвращены к началу топливного цикла - уран на обогащение, а плутоний непосредственно на предприятия по изготовлению топлива. После переработки и обогащения восстановленный уран отправляется на предприятия по изготовлению свежего реакторного топлива. Уран, получаемый из ОЯТ, называется регенерированным. Наиболее перспективное направление переработки связано с реакторами на быстрых нейтронах. Такие реакторы с топливом на основе плутония обладают важной особенностью: количество нейтронов, освобождающихся

в ходе цепной реакции, намного выше, чем в урановых реакторах. Появляется возможность использовать их не только для поддержания цепной реакции основного материала, но и для чего-то ещё. Например, для выработки плутония из Урана-238. При этом, количество нового плутония может превышать количество сгоревшего в активной зоне плутония. Такой реактор называется реактором-размножителем. Это позволит полноценно Уран-238, которого в природе намного больше, чем Уран-235.

Мокрые методы переработки делятся на две группы: первую группу методов используют для разделения ОЯТ на несколько компонентов, а вторую группу методов для отделения от ОЯТ только урана [2]. Разделения производят при помощи различных растворителей. В таблице представлены некоторые мокрые методы переработки ОЯТ.

Таблица

Мокрые методы переработки ОЯТ

Название метода	Суть метода
	Экстракция урана. В процессе отделяется от ОЯТ отделяют уран и технеций. Существуют различные модификации этого метода.
	В качестве альтернативы фосфорному растворителю, в этом методе используется растворитель на основе амидов. Метод характеризуется минимальным количеством органических отходов.
	Выборочная экстракция и разделение америция с помощью электролиза.
	Извлечение цезия и стронция из UREX рафината.
	Метод включает в себя извлечение урана, а также восстановление всех актинидов с последующим применением метода DIAMEX.

Таким образом, главная идея переработки отработавшего ядерного топлива состоит в том, чтобы можно было повторно использовать ядерное топливо, а также чтобы можно было извлекать требуемые химические элементы из ОЯТ.

### Источники

1. Rodríguez-Penalonga L., Moratilla Soria B. Y. A review of the nuclear fuel cycle strategies and the spent nuclear fuel management technologies.

Energies. Vol. 10 (8), p. 1235, 2017.

2. Silverio, L.B.; de Lamas, W.Q. An analysis of development and

УДК 621.18

## СОСТОЯНИЕ ТЭК КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Я.Ю. Красивов

Науч. рук., ассистент, О.Е. Бабилов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zzasd95@mail.ru

Данная работа посвящена экономическому и технологическому развитию Китая. Перспективам использования угля для производства электроэнергии, эффективности производства тепловой и электрической энергии.

**Ключевые слова:** топливный баланс, энергетическая стратегия.

## THE STATE OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX OF CHINA

Ya.Yu. Krasivov

KSPEU, Kazan, Russia

zzasd95@mail.ru

This work is devoted to the economic and technological development of China. The prospects for the use of coal for electricity generation, the efficiency of heat and electricity production.

**Keywords:** fuel balance, energy strategy.

В связи с тем, что мировые запасы угля превышают запасы залежей нефти и природного газа, пылеугольные тепловые электрические станции имеют вполне обоснованные перспективы развития как в России, так и за рубежом. Так, например, уголь занимает доминирующее положение в энергетическом балансе Китая, и примерно 45% потребления угля в Китае используется для производства электроэнергии на пылеугольных тепловых электрических станциях (ТЭС). В данной работе предлагается рассмотреть перспективы использования угля для производства электроэнергии в Китае до 2030 года с учетом спроса на электроэнергию, топливного баланса и эффективности производства тепловой и электрической энергии.

Стремительное экономическое и технологическое развитие Китая связано со своевременным наращиванием генерирующих мощностей. За период с 1980 по 2021 г. ВВП Китая вырос примерно в 92 раза. При этом энергопотребление, выраженное в килограммах нефтяного эквивалента на душу населения, выросло с 609,46 кг до 2224,35 кг. Потребление электроэнергии выросло за данный период более чем в 10 раз.

Потребление электроэнергии неуклонно росло с 1980 года. Ежегодный рост составлял около 8% в период с 1980 по 2000 год [1]. Процесс ускорился в 2000–2010 гг., при этом темпы роста составляли почти 12% в год. После 2010 года рост потребления электроэнергии заметно замедлился, отчасти из-за замедления экономического роста и реструктуризации производства [2]. Примечательным наблюдением является то, что в 2014 году потребление электроэнергии выросло всего на 3,8%, а ВВП вырос на 7,4%. Большая часть потребляемой электроэнергии использовалась для производственных нужд. Однако потребление жилищно-коммунальным сектором неуклонно растет, и к концу 2014 года на его долю приходилось 12,5% от общего потребления электроэнергии в Китае.

Установленная мощность электростанций в Китае существенно увеличилась вместе с растущим спросом на электроэнергию. В настоящий момент Китай занимает первое место в мире по установленной мощности электрических станций. Генерирующая мощность увеличилась с 66 ГВт в 1980 г. до 2377 ГВт по состоянию на декабрь 2022 г. Производство электроэнергии на ТЭС в Китае выросло за 2022 год примерно на 1,4%, на ГЭС – на 3,7%, на АЭС – на 6,5%, на ВЭС – на 15,5%, на СЭС – на 3,3%.

Начиная с 69% в 1980 году, угольная энергетика постоянно составляла более 70% от общей генерирующей мощности. Атомная энергетика зародилась в Китае в 1990-х годах, но ее вклад был довольно ограниченным. Возобновляемая энергетика, в частности энергия ветра, набирает обороты только с начала 21 века. К концу 2014 г. доля угля в структуре топливного баланса составила 62% против 74% в 2005 г [3].

Что касается распределения выработки между различными типами электростанций, то на 2022 год она выглядит следующим образом:

- ТЭС — 1,30 млрд кВт (54,5%);
- ГЭС — 0,39 млрд кВт (16,4%);
- ВЭС — 0,33 млрд кВт (13,8%);
- СЭС — 0,31 млрд кВт (12,9%);
- АЭС — 0,05 млрд кВт (2,2%).

После упразднения монополии и реформирования электроэнергетики

в Китае в 2002 году, были созданы и функционируют на данный момент 5 государственных энергетических компаний: China Huaneng Group, China Datang Group, China Huandian, Guodian Power, China Power Investment. На данные пять госкомпаний приходится примерно 40% установленной мощности электростанций Китая, 45% электрогенерирующих мощностей находятся в ведомстве провинциальных энергетических компаний, 10% контролируют иные госкомпании, а доля иностранных компаний составляет менее 5%.

Интенсивный рост количества энергоблоков наблюдается в Китае с 2006 г. Дело в том, что в 2006 году Национальная комиссия по реформам и развитию Китая приняла решение о том, что для новых энергоблоков мощностью 600 МВт и более необходимо использовать пылеугольные энергетические котлы, а к концу 2008 года около 100 таких энергоблоков уже эксплуатировались в Китае. К началу 2013 г. в Китае находились в работе 119 энергоблоков с пылеугольными энергетическими котлами. К концу 2017 года эксплуатировались 247 пылеугольных энергоблока, в том числе 146 ТЭС мощностью более 1000 МВт. На 2020 год количество пылеугольных ТЭС в Китае достигло 1037.

В рамках декарбонизации процесса производства электроэнергии, Китай планомерно снижает долю выработки электроэнергии на угольных ТЭС, наращивая мощности ГЭС и вкладывая большие средства в развитие электростанций на возобновляемых источниках энергии.

### **Источники**

1. China Electricity Council, 2014a. Basic Statistical Data on Electric Power Sector, 2013, Available at: <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2015-03-0/134849.html>.
2. China Electricity Council, 2014b. 2013 Energy Efficiency Benchmarking Data for 300MW Thermal Units, Available at: <http://kjfw.cec.org.cn/kejifuwu/2014-06-20/123499.html> in Chinese.
3. Yuan J. et al. Coal use for power generation in China // Resources, Conservation and Recycling. vol. 129, pp. 443-453, 2018.



## РАЗВИТИЕ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ДВУХКОНТОРНЫХ АЭС

М.Э. Крылов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

marselkrilov@gmail.com

В статье представлено исследование истории развития новых технологий в сфере атомной энергетики. Выявлены преимущества и недостатки современных проектов таких как «АЭС-2006» и «ВВЭР-ТОИ». Представлены пути решения недостатков данных проектов.

**Ключевые слова:** атомная энергетика, атомная энергетическая станция, водородной энергетический реактор, парогенераторы.

## DEVELOPMENT OF STEAM GENERATORS OF DOUBLE-SECTION NPPs

M.E. Krylov

KSPEU, Kazan, Russia

marselkrilov@gmail.com

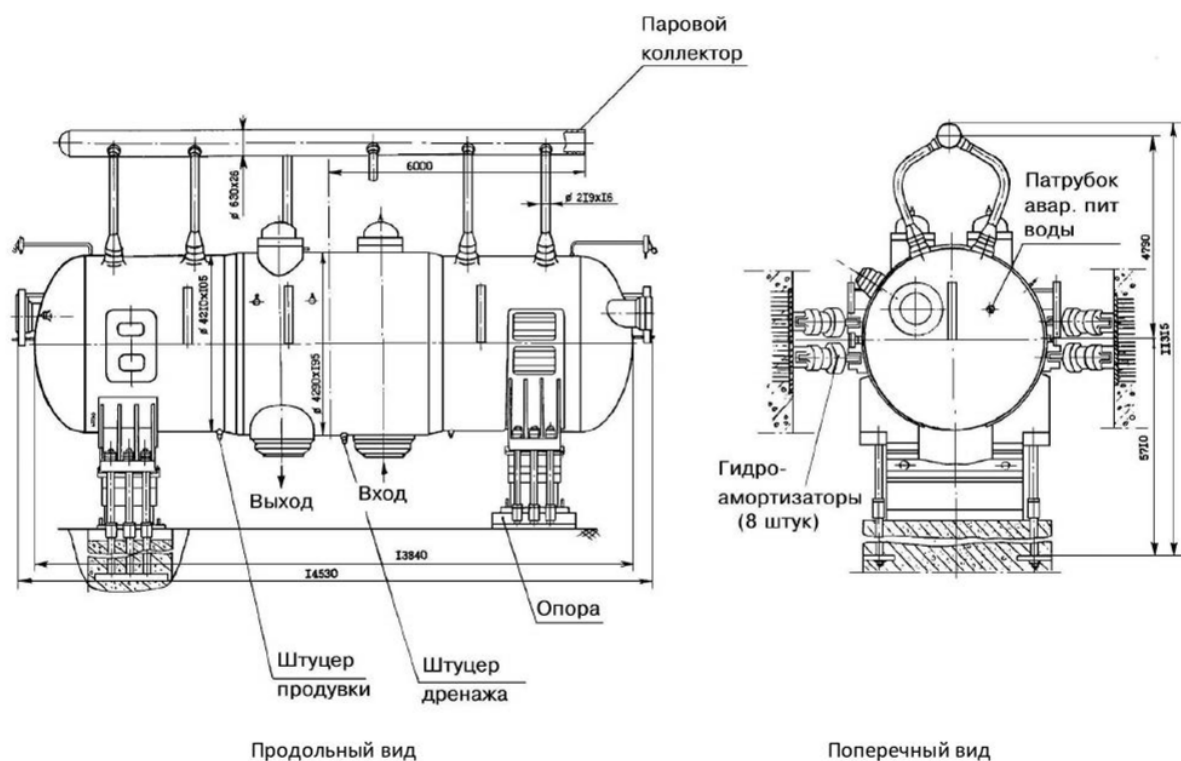
The article presents a study of the history of the development of new technologies in the field of nuclear energy. The advantages and disadvantages of modern projects such as «AES-2006» and «VVER-TOI» are revealed. The ways of solving the shortcomings of these projects are presented.

**Keywords:** nuclear power engineering, nuclear power plant, pressurized water power reactor, steam generators.

Отечественная атомная энергетика претерпевала большие изменения в течение всего срока существования. В настоящее время, в России, эксплуатируются 11 станций с промышленной генерацией и с установленной мощностью свыше 29,5 ГВт, включая 22 блока с реакторами ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор). Доля выработки электрической энергии атомными станциями составляет порядка 20 % от всего производимого электричества. На сегодняшний день, АЭС (атомные энергетический станции) достигли больших результатов в области показателей безопасности и использования

апробированных технологий и оборудования [1].

Одним из важнейших элементов реакторной установки (РУ) является парогенератор (ПГ), передающий тепловую энергию первого контура для выработки электрической энергии в турбинной установке. На рисунке показана конструкция горизонтального парогенератора для реакторных установок ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200.



Парогенератор для ВВЭР-1000 (1200)

В основе опытных, а также расчетно-теоретических трудов вероятны новые конструктивные решения для мощностей до 1600 МВт с увеличением срока службы до 50-60 лет [2]. Вследствие значительных темпов увеличения теплообменных поверхностей (ТП), проектирование парогенераторов для АЭС в настоящее время возможно рассматривать как процесс создания ТП с невысокой удельной тепловой нагрузкой. Таким образом, при проектировании парогенераторов наиболее важными становятся вопросы возможности теплосъема мощности на РУ, чем предоставление сепарационных характеристик парогенераторов. Повышение мощности РУ «ВВЭР-ТОИ» на 3 % по сравнению с «АЭС-2006» ведет к увеличению поверхности теплообмена на 9 % [3]. Увеличение ТП парогенератора обширным путем, за счет его удлинения, обладает важными недостатками, и является вовсе не единственным способом. Наряду с принятыми конструктивными заключениями в ПГВ-

1000МКО проекта «ВВЭР-ТОИ» требуется целесообразно оценить возможность использования в последующих проектах более уплотненной компоновки ТП, труб уменьшенного диаметра, а также их толщины [4].

### **Источники**

1. Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 года: одобрено решением президиума НТС ГК «Росатом» 26 декабря 2018 года. – М., 2018. – 62 с.

2. Лукасевич Б.И., Давиденко С.Е., Трунов Н.Б., Драгунов Ю.Г. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных установок. М., Наука, 2004.

3. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

4. Султанов М.М. Разработка методологии и мероприятий по обеспечению надежности оборудования энергетических систем. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021;23(5):46-55.

УДК 628.16

## **ОЧИСТКА ВОДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ФИЛЬТРАЦИИ**

К.А. Кутилина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Ю.В. Абасев

ФГБОУ ВО «КГЭУ». г. Казань

afdgr5859@mail.ru

Статья посвящена вопросам различных доступных методов фильтрации воды. Приводятся различные виды сохранения водных ресурсов и улучшению качества воды. Рассматриваются натуральные заменители, вместо синтетических, используемые в качестве фильтрующей среды. Делается вывод о необходимости выделения ключевых показателей данного вопроса об очищении воды.

**Ключевые слова:** нехватка воды, фильтрация, природные адсорбенты.

# WATER PURIFICATION USING VARIOUS FILTRATION METHODS

K.A. Kutilina  
KSPEU, Kazan, Russia  
afdgir5859@mail.ru

The article is devoted to the issues of various available methods of water filtration. Various types of water conservation and water quality improvement are given. Natural substitutes are considered, instead of synthetic ones, used as a filter medium. It is concluded that it is necessary to highlight the key indicators of this issue of water purification.

**Keywords:** water shortage, filtration, natural adsorbents.

Одним из наиболее важных процессов, необходимых для улучшения качества воды, является фильтрация. Фильтрация удаляет мельчайшие взвешенные частицы, бактерии, патогены, а также тяжелые металлы, такие как мышьяк, свинец и т. д., и делает воду безопасной для питья. Благодаря развитию технологий ряд методов фильтрации теперь доступен во всем мире. Ведь количество питьевой воды, которое доступно каждому, оставляет желать лучшего качества [1].

Медленный песчаный фильтр, является одним из наиболее ранних методов очистки воды, в качестве фильтрующей среды используется слой песка, за которым следует более крупный материал, такой как гравий. Большая часть биологической очистки выполняется песком, а гравий используется для предотвращения засорения песком дренажных труб. Система нижнего дренажа используется для сбора отфильтрованной воды из фильтра. Он очень эффективен для удаления твердых частиц, размер которых превышает размер пор фильтра. Поэтому некоторые бактерии и вирусы перед удалением проникают глубже в песчаный слой, однако со временем размер пор уменьшается из-за осаждения твердых частиц, и эффективность фильтрации повышается.

Быстрый песочный фильтр был введен в конце 80-х годов, когда возникла необходимость построить водоочистные сооружения на ограниченном участке земли, а медленный песчаный фильтр был огромным и занимал огромную часть ценной земли. В основном используются два типа быстрых фильтров, а именно. Быстродействующий гравитационный фильтр и быстродействующий напорный фильтр. Резервуары быстродействующего гравитационного песчаного фильтра обычно открыты для атмосферы, в то время как резервуары быстродействующего напорного фильтра остаются закрытыми. Основное

различие между ними заключается в том, что один использует гравитацию для подвижности воды, а другой использует давление. Его основными составляющими являются камера, фильтрующий песок, гравийная подложка, система поддона и желоба для промывных вод. Сама по себе этот фильтр не может обрабатывать воду, поэтому она требует предварительной обработки, такой как осаждение, и последующей обработки, такой как дезинфекция. В сочетании с этими процессами фильтр может оказаться очень эффективным. Он имеет высокую скорость фильтрации, фильтр очищается каждые 24 часа путем обратной промывки, которая занимает всего 30 минут. При обратной промывке отфильтрованная вода подается в обратном направлении под давлением, которое очищает все твердые частицы, накопившиеся на фильтрующем слое. После обратной промывки фильтр снова готов к использованию [2].

Обратный осмос - это мембранная технология, управляемая давлением, которая нашла свое применение во всем мире. Этот процесс с контролируемой диффузией, при котором вода проходит через мембраны обратного осмоса. Системы обратного осмоса сегодня наиболее распространены. Очень удобен для установки и эксплуатации от промышленных предприятий до загородных домов и квартир, что также является неоспоримым преимуществом для улучшения качества питьевой воды. Процесс обратного осмоса эффективно удаляет микробы и токсины. Также может использоваться и для опреснения воды.

Микрофильтрация и ультрафильтрация - это недавно разработанные технологии фильтрации, обладающие высоким потенциалом фильтрации воды до требуемого качества. Оба фильтра работают по одному и тому же принципу, то есть взвешивают твердые частицы, такие как тяжелые металлы, взвешенные твердые частицы, растворенные соли на мембране фильтра. Диаметр пор мембраны микрофильтра колеблется от 0,1 до 0,3 мкм, тогда как диаметр пор мембраны ультрафильтра составляет всего 0,02 мкм. Из-за сравнительно большего размера пор первый фильтр может забиваться из-за скопления мельчайших частиц размером менее 0,1 мкм. Следовательно, рекомендуется провести коагуляцию или флокуляцию перед использованием микрофильтрации. Одним из недостатков этого метода является то, что его нельзя использовать как самостоятельный процесс, так как это механический процесс. Он должен быть оснащен дезинфекционным блоком, чтобы позаботиться о вредных патогенах, которые остались даже после прохождения через фильтр. Ультрафильтрация более эффективна, чем микрофильтрация, благодаря меньшему размеру пор, так как благодаря этому в наш организм попадает

вода более высокого качества [3].

В современных реалиях начинают все больше применять экологически безопасные и устойчивые подходы практически ко всем видам процессов, таких как производство, утилизация отходов и т. д., поиск природных альтернатив очистке воды стал крайне важным. Было проведено множество исследований, в которых подробно изучалось использование природных материалов в качестве среды для фильтрации воды вместо уже известных неорганических и синтетических материалов. Например, семена моринги масличной, эти виды растений, широко известные как барабанные палочки, действуют как естественный коагулянт в процессе очистки воды, могут использоваться для очистки питьевой воды, а также для очистки сточных вод. Они содержат водорастворимый белок, и на сегодняшний день обнаружено четырнадцать видов данных семян. Все они обладают определенной степенью коагуляционного свойства. Семена очень эффективны для удаления высокой мутности и организмов из воды, поскольку они содержат биокоагулянтное соединение. Образование шлама сравнительно ниже, чем при использовании сульфата алюминия, и семена моринги масличной не влияют на pH воды, это также не влияет на проводимость, щелочность, концентрацию катионов и анионов [4].

Активированный уголь широко используемый адсорбент. Его обычно получают из древесного угля, хотя его также можно производить из сырья, такого как древесина, скорлупа орехов и нефть. Он содержит большое количество пор на своей поверхности, которые помогают притягивать твердые частицы, а также растворенные органические вещества. Кроме того, он также улучшает вкус воды. Активированный уголь является легкодоступным и широко распространенным адсорбентом. Один или два слоя активированного угля, нанесенные перед процессом ультрафильтрации, нанофильтрации и обратного осмоса, предотвращают загрязнение мембраны, что увеличивает срок службы мембраны. Он доступен как в гранулированном, так и в порошкообразном виде. Он также используется в большинстве портативных фильтров для воды, используемых сегодня, из-за его легкой доступности и хороших свойств очистки воды для различных нужд, в том числе и приготовления пищи и питья [5].

В этой статье обсуждались различные методы фильтрации воды. Принимая во внимание преимущества и недостатки каждого из методов, можно легко решить, какой тип метода фильтрации подходит для той или иной ситуации. Доступные естественным образом адсорбенты еще больше

улучшают удаление загрязняющих веществ и помогают нам достичь устойчивого развития, к которому стремятся на протяжении многих лет. Эти методы помогают избавиться от различных видов загрязнения воды в различных средах и для различного ее потребления, в том числе и в питьевой воде [6].

### **Источники**

1. Загрязнение питьевой воды и методы очистки. Прикладная наука о воде, 7(3), 1043-1067.
2. Медленная песчаная фильтрация. CRC Critical Reviews In Environmental Control, 15(4): 315-354
3. Мембранная фильтрация (микро- и ультрафильтрация) в воде. Справочник по очистке воды и использованной воды, 1-17.
4. Качество воды, обработанной методом коагуляции с использованием семян *Moringa oleifera*. Исследование воды, 32(3), 781-791.
5. Очистка от микробных загрязнений в системах питьевого водоснабжения: технологии и затраты. Noyes Data Corp. Парк-Ридж, Нью-Джерси, стр. 5–54.
6. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vkgeu.ru/> (дата обращения: 24.02.23).

УДК 621.039.1

## **СОВРЕМЕННЫЕ ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСПЛАВЛЕННЫХ СОЛЕЙ: ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

В.А. Лавриков

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» А.И. Минибаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

vasiliylavricov@mail.ru

В статье рассматриваются основные преимущества применения современных ядерных технологий расплавленных солей в атомной энергетике. Выявлены недостатки реакторов, работающих на расплавленном солевом топливе. Представлены перспективы использования современных ядерных технологий расплавленных солей в различных отраслях.

**Ключевые слова:** жидкосолевой реактор, малый модульный реактор, жидкое топливо.

## MODERN NUCLEAR TECHNOLOGIES OF MOLTE SALT: ADVANTAGES, DISADVANTAGES AND PROSPECTS

V.A. Lavrikov  
KSPEU, Kazan, Russia  
vasiliylavricov@mail.ru

The article discusses the main advantages of using modern nuclear technologies of molten salts in the nuclear power industry. The shortcomings of reactors operating on molten salt fuel are revealed. The prospects for the use of modern nuclear technologies of molten salts in various industries are presented.

**Keywords:** molten salt reactor, small modular reactor, liquid fuel.

Жидкосолевой реактор (ЖСР) – это установка, активная зона которого заполнена гомогенной смесью, состоящей из расплавленных фторидов солей и фторидов делящегося материала [1].

Подобная концепция реактора имеет ряд преимуществ перед классическими твердотопливными реакторами:

Во-первых, за счет того, что солевая смесь уже находится в расплавленном состоянии, а активная зона работает при атмосферном давлении, авария с расплавлением активной зоны практически исключается.

Во-вторых, эффективность использования топлива ЖСР в среднем на 30% выше, чем у твердотопливных реакторов [2].

В-третьих, благодаря отрицательным температурному эффекту и пустотному эффекту, при нагревании или потере теплоносителя выработка тепла в активной зоне постепенно прекращается, то есть реактор самопроизвольно выключается, не позволяя теплоносителю и реакторному оборудованию перегреться и выйти из строя; это также позволяет реактору подстраиваться под необходимый уровень нагрузки [2].

В-четвертых, ЖСР способен работать как «реактор-сжигатель». Такие реакторы способны использовать отработанное ядерное топливо (ОЯТ), полученное от других реакторов, в качестве своего топлива. Подобное применение ЖСР позволит сократить количество ОЯТ, превратив его в трансурановые элементы с малой долей реактивности [2].

Однако, несмотря на все вышеупомянутые преимущества, подобные технологии имеют ряд недостатков: применение жидкого топлива лишает реактор привычных барьеров, препятствующих распространению радиоактивного расплава за пределы активной зоны, таких как топливная



таблетка, стержни тепловыделяющих элементов и тепловыделяющие сборки. Помимо этого, при повышенных температурах фторидной среды возрастает коррозионная активность жидкого топлива, что повышает требования к материалам конструкций элементов первого контура [3].

В 1964 году американские ученые запустили экспериментальную энергетическую установку с жидкосолевым реактором MSRE-1000 (Molten-Salt Reactor Experiment, 1000 МВт эл. мощности). В результате проводимых исследований была выявлена еще одна проблема - межкристаллическое растрескивание на всех металлических поверхностях, подвергшихся воздействию топливной соли; распространение трещин было достаточно быстрым, что могло пагубно сказаться на длительной эксплуатации данного реактора [4].

Преимущества ЖСР позволяют использовать подобные реакторы в различных отраслевых сферах, таких как: морской транспорт (применение ядерных энергетических установок с ЖСР позволяют повысить автономность морских судов во время длительных плаваний), переработка отработанного ядерного топлива (ЖСР как реактор-сжигатель способен помочь более эффективно использовать энергетический потенциал радионуклидов в замкнутом ядерном топливном цикле за счет утилизации долгоживущих радионуклидов, минорных актиноидов, образующихся в топливе других ядерных реакторов), космический транспорт (ЖСР отличный вариант ядерной энергетической установки, применяющейся для поддержания жизнедеятельности экипажа космического корабля или поддержания работоспособности автономных станций) [5].

Таким образом, перспективы использования ЖСР способны решить ряд проблем не только в ядерной энергетике, но и в транспортной отрасли. Однако подобное применение жидкосолевых реакторов должно производиться с учетом всех тонкостей подобных технологий и всех проблем, связанных с эксплуатацией ЖСР.

### **Источники**

1. Атомная энергетика спасает жизни [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.un.org/ru/chronicle/article/22097> (дата обращения: 23.02.2023).

2. Жидкосолевой реактор: от «бумаги» к «железу» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://atomicexpert.com/zhidkosolevoy\\_reaktor](https://atomicexpert.com/zhidkosolevoy_reaktor) (дата обращения: 23.02.2023).

3. Ядерные реакторы 4-го поколения: можно ли решить оставшиеся проблемы ядерной энергетики? [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://climatescience.org/ru> (дата обращения: 06.01.2023).

4. ЖСР снова востребована [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://uran.ru/node/6954> (дата обращения: 23.02.2023).

5. Решетникова, М. Почти вечный движок на энергии атома: вызовы ядерной энергетики [Электронный ресурс]. Режим чтения: <https://trends.rbc.ru/trends/> (дата обращения: 06.01.2023).

УДК 621.039.5.01/.08

## **МАЛЫЕ МОДУЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ: ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕД ТРАДИЦИОННЫМИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

В.А. Лавриков

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» А.И. Минибаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[vasiliylavricov@mail.ru](mailto:vasiliylavricov@mail.ru)

В статье дано описание малого модульного реактора. Рассмотрены основные достоинства малых модульных реакторов перед традиционными. Представлены наиболее перспективные возможности применения малых модульных реакторов в современной энергетике и на транспорте.

**Ключевые слова:** малый модульный реактор, ядерная энергетика, энергоблок.

## **SMALL MODULAR REACTORS: ADVANTAGES OVER TRADITIONAL REACTORS AND APPLICATION PROSPECTS**

V.A. Lavrikov

KSPEU, Kazan, Russia

[vasiliylavricov@mail.ru](mailto:vasiliylavricov@mail.ru)

The article gives a description of a small modular reactor. The main advantages of small modular reactors over traditional ones are considered. The most promising possibilities for the use of small modular reactors in modern energy and transport are presented.

**Keywords:** small modular reactor, nuclear power, power unit.

Малый модульный реактор (ММР) – ядерный реактор относительно небольших размеров, обладающий электрической мощностью до 300 МВт, который можно построить на одном заводе и доставить до подготовленной площадки единым блоком. Такие реакторы опираются в основном на

пассивные системы защиты [1].

На сегодняшний день множество предприятий ядерного сектора проявляют растущий интерес к потенциалу малых модульных реакторов. Они видят в ММР конкурентоспособный элемент низкоуглеродных технологий, так как подобные реакторы способны воплотить надежды о внедрении безопасных, упрощенных и многофункциональных ядерных мощностей в мировую энергетическую систему. Подобные надежды основаны на следующих преимуществах ММР:

Во-первых, модульность малых реакторов позволяет собирать их на одном заводе и перевозить их едиными блоками [1].

Во-вторых, относительно небольшие размеры таких реакторов позволяют размещать на одной площади несколько энергоблоков, также их можно размещать в местах, не подходящих для строительства больших станций, и подключать к существующей энергетической сети [1].

В-третьих, устройство ММР достаточно простое, такие реакторы опираются на пассивные системы защиты и потому для их эксплуатации не требуется большое число обслуживающего персонала [2].

В-четвертых, такие реакторы имеют низкие требования к топливу, также для них не требуется частая перезагрузка, а их потребность в охлаждающей воде не большая, по сравнению с традиционными реакторами [2].

В-пятых, ММР способны работать в паре с возобновляемыми источниками энергии [2].

Широкое распространение ММР получили в области морского транспорта. К примеру, в военно-морском флоте США имеется около 130 атомных подводных лодок и более 10 атомных надводных кораблей. Ядерные энергетические установки (ЯЭУ), будучи оснащенными малыми модульными реакторами, по сравнению с обычными суднами обладают большей автономностью и более высокой скоростью [3].

Малые модульные реакторы нашли свое применение и в космической отрасли. Энергия, вырабатываемая ММР, идет на питание системы управления движением, двигателей ориентации и стабилизации космического аппарата, системы радиосвязи и телеметрической системы, системы жизнедеятельности, а также термостатирования жилых и приборных отсеков. Возможность использования ММР на космических аппаратах обусловлено тем, что усложнение программ космических полетов требует увеличения электрической мощности бортовых систем, из-за чего применение ЯЭУ становится весьма перспективным вариантом,

так как они обладают сравнительно небольшим весом, подходят для длительного периода работы и способны выступать как стабильный источник электрической энергии [4].

Мобильность, модульность, простота и высокая безопасность ММР делает их идеальным вариантом для использования в отдаленных регионах, где постройка больших реакторов является затруднительной задачей. Такие реакторы способны снабжать теплом и электрической энергией небольшие поселения с населением до 100 тыс. человек, к тому же они могут быть подключены к уже существующей энергетической сети, либо же работать независимо от нее. В случае необходимости такие реакторы можно расположить не только на суше, но и под водой [4].

Таким образом, область применения малых модульных реакторов крайне широка. Многофункциональность ММР позволяет использовать их потенциал там, где установка большого не представляется возможным, что позволит повысить энергообеспеченность не только отдаленных регионов, но различного вида транспорта. Именно поэтому ММР являются конкурентоспособными [4].

### **Источники**

1. Малые реакторы как альтернатива современным энергетическим реакторным установкам [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/402055/> (дата обращения: 02.03.2023).

2. Малые модульные реакторы: проблемы и перспективы [электронный ресурс]. Режим доступа: [https://rosatom.ru/upload/docs/Small\\_Modular\\_Reactors.pdf](https://rosatom.ru/upload/docs/Small_Modular_Reactors.pdf) (дата обращения: 02.03.2023).

3. Что такое малые модульные реакторы (ММР)? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/chto-takoe-malye-modulnye-reaktory-mmr> (дата обращения: 02.03.2023).

4. Малые модульные реакторы: глобальные перспективы [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://atomicexpert.com/small\\_modular\\_reactors](https://atomicexpert.com/small_modular_reactors) (дата обращения: 02.03.2023).

## ОЧИСТКА КОНДЕНСАТОРА МЕТОДОМ ТЕРМИЧЕСКОЙ СУШКИ

Ю.Ф. Лопатенкова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Р.Е. Безруков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

serdechko.09@mail.ru

В статье рассмотрен метод очистки конденсатора от отложений – термическая сушка. Данный метод представляет собой способ удаления из конденсатора отложений, которые поддаются высушиванию и растрескиванию. Представлены описание, преимущества и актуальность метода.

**Ключевые слова:** конденсатор, метод, термическая сушка, отложения.

## CLEANING OF THE CONDENSER BY THERMAL DRYING

Y.F. Lopatenkova

KSPEU, Kazan, Russia

serdechko.09@mail.ru

The article discusses the method of cleaning the condenser from deposits – thermal drying. This method is a method of removing deposits from the condenser that can be dried and cracked. The description, advantages and relevance of the method are presented.

**Keywords:** condenser, method, thermal drying, deposits.

Одной из ключевых задач, стоящих перед электростанциями, является обеспечение эффективной работы конденсаторов. Конденсаторы играют важную роль в процессе производства электроэнергии, и любое неправильное их функционирование может привести к существенному снижению производительности электростанции. Важным аспектом поддержания работоспособности конденсаторов является их регулярная очистка от различных отложений.

Загрязнения оказывают значительное влияние на работу трубной системы конденсатора [3]. Загрязнение внутренней поверхности трубок приводит к существенному ухудшению вакуума, теплоотдача уменьшается из-за роста термического сопротивления и диаметр трубок уменьшается. Это приводит к увеличению гидравлического сопротивления конденсатора и сокращению расхода охлаждающей воды.

Одним из способов очистки конденсатора от отложений является термическая сушка. Этот способ предназначен для удаления отложений, способных растрескиваться и расслаиваться. Это необходимо для того, чтобы поток воды смог уносить уже отслоившиеся загрязнения.

Этот метод осуществляется путём повышения температуры внутри трубок до 50-55 градусов [2]. Органические и прочие загрязнения иссыхают и постепенно отслаиваются. Для ускорения процесса применяют вентилятор и нагревательный калорифер. Их подключают напорным патрубком к крышке люка конденсатора. Подогретый воздух подается через трубки конденсатора. После сушки, которая проводится 4-8 часов, люки конденсатора закрываются и происходит включение в работу. Отложения, вынесенные в водяное пространство воздухом, уносятся водой.

Разновидностью термической сушки является вакуумная термическая сушка, которая не требует вскрытия конденсатора и осуществляется без остановки турбины [1]. При этом в конденсаторе создается глубокий вакуум, а затем происходит выпаривание влаги из отложений, что удаляет их. При этом вакуум должен быть более глубоким, чем в паровом пространстве. Очистка осуществляется сначала в одной половине конденсатора, затем в другой. Осушенные и отслоившиеся частицы загрязнений уносятся циркулирующей водой.

Для проведения вакуумной сушки требуется смесительный конденсатор, насос и эжектор. Кроме того, необходимо предусмотреть запорную арматуру и измерительные приборы.

Неконденсирующиеся пары водяного пространства откачиваются эжектором. Конденсация образующегося пара происходит в конденсаторе смешения, а конденсат откачивается насосом в сливной коллектор.

Преимущества метода - быстрая реализация и возможность очистки конденсатора без открытия люков конденсатора при работе турбины. Сушка половины конденсатора вакуумным способом занимает от одного до двух часов.

Особенностью этого метода является то, что сушку невозможно привести в исполнение при неисправности арматуры. А также длительное применение приводит к меньшей эффективности очистки, что в свою очередь требует использования другого способа. Для проведения метода требуется обеспечить высокую герметичность трубопроводов по охлаждающей воде, своевременную очистку конденсатора, чтобы сохранить надежность его работы.

Подводя итоги, необходимо упомянуть о важности очистки

конденсатора. Так как качественная очистка позволит продлить срок эксплуатации, сохранить надежность и работоспособность такого важного теплообменного оборудования, как конденсатор.

### **Источники**

1. Бродов Ю.М., Савельев Р.З. Конденсационные установки паровых турбин: учебное пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1994. 288 с.

2. К.Э. Аронсон, С.Н. Блинков, В.И. Брезгин и др. Под ред. профессора, докт. техн. наук Ю.М. Бродова. Теплообменники энергетических установок: Учебник для вузов. – Екатеринбург: Изд-во «Сократ», 2002. – 968 с.

3. Лосев С.М. Паровые турбины и конденсационные устройства. М.-Л.: Энергия, 1964. 376 с.

УДК 662-769.2

## **СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ПАРОВОЙ РИФОРМИНГ-ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ И ЕЁ ВАРИАЦИИ**

Е.С. Майоров

Науч. рук. д. техн. наук, доцент А.А. Филимонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

timetolegend@gmail.com@mail.ru

В статье рассматриваются различные варианты схемы паровой риформинг-топливный элемент для твердооксидного топливного элемента. В зависимости от используемого газа, а также режима работы системы (прямоточной и с рециркуляцией анодных газов), вид и компоненты схемы могут изменяться. Основные изменения затронут систему риформинга, систему газоходов, а также систему предочистки сырьевого газа. Моделирование системы риформинга произведено в среде моделирования ASPEN PLUS.

**Ключевые слова:** риформинг, топливный элемент, рециркуляция анодных газов.

# STRUCTURE OF THE STEAM REFORMING-FUEL CELL SYSTEM AND ITS VARIATIONS

E.S. Mayorov

KSPEU, Kazan, Russia

timetolegend@gmail.com@mail.ru

The article discusses various options for the steam reforming-fuel cell scheme for a solid oxide fuel cell. Depending on the gas used, as well as the mode of operation of the system (on-line and with recirculation of anode gases), the type and components of the circuit may vary. The main changes will affect the reforming system, the gas duct system, as well as the feed gas pre-treatment system. The modeling of the reforming system was performed in the ASPEN PLUS modeling environment.

**Keywords:** reforming, fuel cell, anode gas recirculation.

Водород является одним из наиболее перспективных ресурсов для энергетического сектора благодаря своим свойствам. Удельная теплота сгорания водорода составляет  $140 \cdot 10^6$  Дж/кг, что в 7 раз выше удельной теплоты сгорания каменного угля ( $22 \cdot 10^6$  Дж/кг) и в 4.5 раза выше удельной теплоты сгорания природного газа ( $31 \cdot 10^6$  Дж/кг) [1]. Высокая теплотворная способность водорода позволит заменить существующие ископаемые ресурсы, однако из-за тех же химических свойств использование водорода является очень трудоемким. При взаимодействии с кислородом в определённом соотношении водород способен самовоспламеняться, что несет в себе огромную опасность при использовании его в качестве сжигаемого топлива. Использование же водорода в различных реакторах является более перспективным направлением. Одним из таких реакторов является твердооксидный топливный элемент.

Для работы твердооксидного топливного элемента требуется обеспечить его постоянным поступлением водорода. Однако, выработка чистого водорода в результате электролиза не позволит получить достаточную экономическую эффективность, из-за чего необходимо дополнительно включить риформинг топлива. Благодаря системе риформинга сырьевым газом может быть не только водород, но и газы имеющие в своем составе высшие углеводороды (природный газ, биогаз, отходы нефтяной промышленности и др.). Целью данной работы является разработка различных вариантов технологических схем системы паровой риформинг-топливный элемент (ПР-ТЭ). Влияние на конфигурацию



технологической схемы оказывают 2 параметра: используемый сырьевой газ и режим работы системы (прямоточный и с рециркуляцией анодных газов).

На рисунке 1 представлена схема системы ПР-ТЭ, работающей на метане в прямоточном режиме.

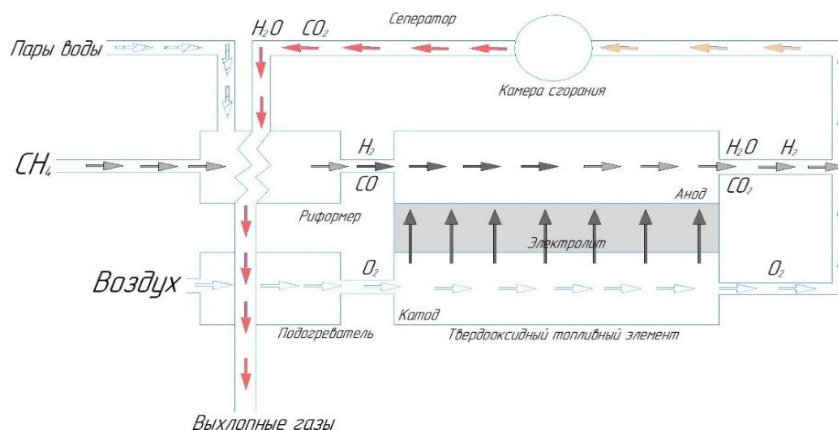


Рис. 1. Конфигурация системы ПР-ТЭ для метана в качестве сырьевого газа, работающей в прямоточном режиме

Достоинством данной конфигурации системы ПР-ТЭ является простота конструкции и эксплуатации. К тому же для поддержания реакции риформинга требуется постоянное поступление перегретого пара в пространство риформера, что обеспечивается за счет внешнего парового тракта. Однако такой вариант не является наиболее экономичным из-за постоянного производства перегретого пара, что является энергозатратным.

Данную проблему можно решить при помощи рециркуляции анодных газов. В результате химических реакций в топливном элементе в составе выходящих газов будут находиться пары воды, которые могут быть использованы в качестве реагента в реакции парового риформинга. Исследование [2] показало, что рециркуляция анодных газов в системе ПР-ТЭ позволит увеличить КПД установки и уменьшить капитальные затраты.

На рисунке 2 представлена схема системы ПР-ТЭ, работающей на метане в режиме рециркуляции анодных газов.

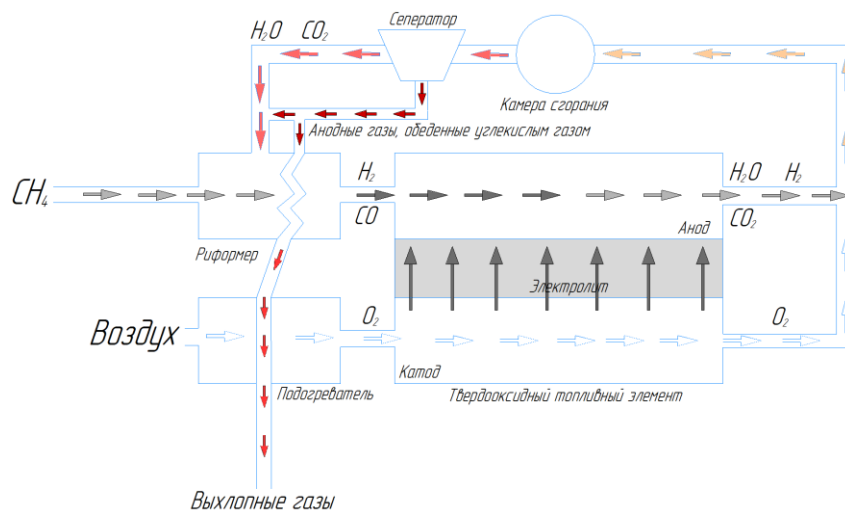


Рис. 2. Конфигурация системы ПР-ТЭ для метана в качестве сырьевого газа, работающей в режиме рециркуляции анодных газов

Если система подразумевает высокую степень рециркуляции, то молярная концентрация воды в рециркулирующих газах будет уменьшаться, что приведет к уменьшению выработки водорода в риформере. Уменьшение выработки водорода приведет к уменьшению выработки тепловой и электрической энергии в топливном элементе. Для поддержания концентрации паров воды на достаточном уровне для полноценного риформинга в систему ПР-ТЭ можно включить сепарационные модули или перекидные устройства такие как [3].

Таким образом, можно заключить, что конфигурация системы ПР-ТЭ работающей в прямоточном режиме будет уступать системе в режиме рециркуляции анодных газов в энергетических и экономических параметрах.

Для поддержания концентрации паров воды на достаточном уровне для полноценного риформинга в систему ПР-ТЭ можно включить сепарационные модули или перекидные устройства такие как [3].

### Источники

1. Удельная теплота сгорания топлива [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/> (дата обращения 02.03.2023)
2. Ершов М.И., Волкова Ю.В., Мунц В.А. Моделирование режимов работы эжектора для рециркуляции анодных газов. Труды второй научно-технической конференции молодых ученых Уральского энергетического института. — Екатеринбург: УрФУ –2017. С. 62-64.
3. Перекидное устройство мартеновских печей: [Патент SU 711325A1, F 27 В 3/22 опубл. 25.01.1978].

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Д.А. Макуева<sup>1</sup>, Р.И. Разакова<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р хим. наук, зав. каф. А.А. Чичиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>dil.avp@mail.ru, <sup>2</sup>razakova.ri@kgeu.ru

В статье рассмотрена перспектива создания и развития автозаправочных станций на водороде. Современные отечественные и зарубежные проекты по внедрению водородного топлива для автотранспорта требуют создания соответствующей инфраструктуры водородных заправочных станций.

**Ключевые слова:** водород, водородная энергетика, водородная заправочная станция, топливо.

## STATUS AND PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF HYDROGEN FILLING STATIONS

D.A. Makueva<sup>1</sup>, R.I. Razakova<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>dil.avp@mail.ru, <sup>2</sup>razakova.ri@kgeu.ru

The article considers the prospect of creating and developing filling stations on hydrogen. Modern domestic and foreign projects for the introduction of hydrogen fuel for vehicles require the creation of an appropriate infrastructure for hydrogen filling stations.

**Keywords:** hydrogen, hydrogen energy, hydrogen filling station, fuel.

Развитие водородной энергетики продолжает оставаться важным направлением исследований и разработок, ведущих к декарбонизации и низкоуглеродному развитию. Применение водородного топлива позволит сократить выбросы углеводородов в атмосферу в таких секторах, как транспорт, химическая промышленность, производство удобрений, металлургия и т.д [1].

К преимуществам водорода в качестве энергоносителя можно отнести его высокую плотность энергии, что делает его особенно эффективным по сравнению с бензином и дизельным топливом. Также водородное топливо может транспортироваться на дальние расстояния,

именно это позволяет распределять энергоресурсы между странами [2].

В зарубежных странах использование водорода на транспорте и в энергетике - перспективное направление, на которое возлагаются большие надежды. Следует отметить, что для внедрения водородного топлива, необходимо обеспечить развитую инфраструктуру.

Наибольшее развитие водородного автотранспорта наблюдается в Германии (H2 Mobility), США (CaFCP и H2 USA), Японии (HySUT). Европейская программа H2Mobility предлагает увеличить количество водородных заправок в Британии до 65 к 2025 году и до 1150 к 2030 году, чтобы охватить всю страну [2]. В США, Канаде, Норвегии строят «Водородные шоссе» между городами протяженностью от 500 до 1000 км, вдоль которых построены водородные заправки. [3]

По данным за последние несколько лет количество ВЗС стремительно растет, например, в 2006 г. насчитывалось 140 заправок, в 2008 г. – 175, в 2018 г. – 300, в 2020 г. – 570, эксплуатируются как общедоступные, так и частные (мобильные, домашние) станции. Ниже представлена информация по лидирующим странам по эксплуатации и строительству ВЗС (таблица 1) [4].

Таблица 1

Количество ВЗС в странах мира

Страна	США	Азия	Германия	Европа	Великобритания
Количество	107	178	84	117	11

В свою очередь Госкорпорация «Росатом» совместно с Правительством Сахалинской области и ведущими российскими промышленными компаниями прорабатывают целый ряд вопросов, связанных с развитием транспорта на водородном топливе и заправочной инфраструктуры. В планах проекта внедрение на острове Сахалин пассажирского железнодорожного сообщения с применением поездов на водородных топливных элементах [2].

Госкорпорация «Росатом» рассматривает следующие методы производства водородного топлива: паровая конверсия метана с технологиями улавливания CO<sub>2</sub>, электролиз, технология паровой конверсии метана совместно с атомной генерацией [2].

Целевые показатели по водородным заправочным станциям на 2025 год составляют 100 объектов, в дальнейшем их количество будет ежегодно

возрастать.

Между системой генерации  $H_2$  и компрессором устанавливаются герметичные буферные резервуары. Водород хранится в виде сжатого газа или в сжиженном состоянии. Немаловажным является решение проблемы, связанной с транспортировкой  $H_2$  к месту его использования. Поскольку водород обладает высокой диффузионной способностью, возможно возникновение, так называемой, водородной коррозии металла [5]. В свою очередь, водородная коррозия приводит к необратимым потерям механических свойств металла, что повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций на ВЭС.

Безопасный и устойчивый переход к использованию водорода требует изучения и полного понимания вопросов безопасности, связанных с водородом. Для минимизации риска возникновения пожаро- и взрывоопасных ситуаций, необходимо избегать возникновения утечек и выбросов опасных веществ в атмосферу.

### **Источники**

1. Grigoriev S.A., Poremsky V.I., Fateev V.N. Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy // International Journal of Hydrogen Energy. – 2006. – Vol. 31. iss. 2. – P. 171-175.

2. Водород – новый безуглеродный вектор для транспорта, энергетики и промышленности // Neftegaz.RU URL: <https://www.rusatom-overseas.com/ru/hydrogen-energy/vodorod-novyy-bezuglerodnyy-vektor-dlya-transporta-energetiki-i-promyshlennosti/> (дата обращения: 19.02.2023).

3. Где в мире распложены заправочные станции для водородных автомобилей [FCEV] // Zap-online.ru URL: <https://zap-online.ru/info/avtonovosti/vodorodnie-zpravki> (дата обращения: 21.02.2023).

4. Возобновляемые источники энергии // Neftegaz.RU URL: <https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/757329-kitay-uspeshno-azvivaet-vodorodnyu-energetiku/> (дата обращения: 21.02.2023).

5. Клуманн А., Соллид Ч. Заправочные станции на основе электролизера для различных проектов в Европе // Альтернативная энергетика и экология. – 2003. – Спец.выпуск. – С.29.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Н.В. Меньщиков

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.И. Ляпин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nik-ninza2000@mail.ru

В работе рассмотрены особенности эксплуатации систем маслоснабжения парогазовых установок, работающих в составе тепловых электрических станций, структура и взаимосвязи элементов турбины парогазовой установки. Рассмотрены особенности системы масляного охлаждения. Проведен анализ характеристик и параметров теплообменных процессов в элементах (аппаратах) технологической схемы системы маслоснабжения парогазовой установки, приведены пути повышения эффективности работы таких систем.

**Ключевые слова:** маслоснабжение, теплообмен, масло, парогазовая установка, турбина.

## THE ROLE OF HEAT EXCHANGE IN OIL SUPPLY SYSTEMS OF A COMBINED-CYCLE GAS PLANT

N.V. Menshikov

KSPEU, Kazan, Russia

nik-ninza2000@mail.ru

The paper considers the process of heat exchange between all elements of a turbine of a combined-cycle gas plant. The main properties of turbine oil and its characteristics are determined. The elements through which the oil passes are highlighted and the efficiency of this type of cooling is evaluated. The features of the oil cooling system are considered.

**Keywords:** oil supply, heat exchange, oil, combined cycle gas plant, turbine.

В современных условиях эксплуатации генерирующих предприятий энергетики возникают условия, при которых оборудование электростанций необходимо выводить на повышенные нагрузки. Такие условия эксплуатации требуют особого отношения к работе наиболее значимого оборудования парогазовой установки (ПГУ), в особенности валов газовой

и паровой турбин, воздушных и газодожимных компрессоров, электрогенераторов и иных приводных механизмов, имеющих вращающиеся части, и требующие смазки и надежного охлаждения масел и смазывающих материалов. Решение таких задач осуществляется на стадии проектирования и конструирования систем охлаждения маслохозяйства ПГУ, способной рассеивать больше количество выделяемого тепла не только при номинальном режиме, но и при кратковременном повышении нагрузки энергоблока. Такая система должна обладать невысокой себестоимостью, небольшими эксплуатационными затратами, а также простотой обслуживания.

На тепловых электрических станциях все системы маслоснабжения отличаются в зависимости от особенностей их технологической схемы, состава оборудования, производительности и других факторов. Но, все они схожи по принципам функционирования.

Система маслоснабжения энергетической установки (на примере ПГУ-450 МВт) предназначена для подачи масла в гидравлическую, электрогидравлическую системы, а также к подшипникам турбоустановки. Чаще всего применяют турбинное масло, у которого температура застывания составляет  $-15^{\circ}\text{C}$ , но в особо неблагоприятных температурных условиях до  $-45^{\circ}\text{C}$ . Наиболее подходящим маслом при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$  является ТП-22с, так как к достоинствам этого масла относятся такие характеристики как: износостойкость, стабильность показателей за весь срок эксплуатации, тепловая стабильность, высокие защитные характеристики. Кислотное число турбинного масла ТП-22с составляет  $0,07 \text{ мг КОН/г}$ , а вязкость при  $50^{\circ}\text{C}$  составляет от 20 до  $23 \text{ мм}^2/\text{с}$  [1].

В процессе эксплуатации масла, применяемые в системах маслоснабжения ПГУ, помимо своей основной функции еще и должно обеспечивать эффективный отвод тепла от подшипников турбоустановки. При этом необходимо ответственно подходить к подбору таких свойств масел, как вязкость, кислотное число и зольность. Применяемые масла не должны содержать водорастворимые кислоты, воду, серу и щелочи. Во избежание окисления теплоносителя температура после подшипников должна быть не более  $+75^{\circ}\text{C}$ . Тепло, которое отводится маслом, проходит через систему маслоохлаждения, которая представляет собой контур, наполненный водой. Маслоохладители – трубчатые теплообменники, заполненные водой внутри и омываемые снаружи маслом. Они обеспечивают должный отвод тепла, а именно понижают температуру смазочного масла с  $55^{\circ}\text{C}$  до  $40-45^{\circ}\text{C}$ . Делается это для того, чтобы масло

сохраняло свою вязкость или коэффициент внутреннего трения. Он характеризует потери на трение в масляном слое. Также от вязкости зависит коэффициент теплоотдачи от металла к смазывающему маслу.

В маслоохладителях давление воды должно быть меньше давления масла во избежание попадания воды в систему смазки турбоагрегата. Как правило, такая система маслоохлаждения связана не только с охлаждением и смазкой подшипников турбины, но и с уплотнениями генератора, подсоединённым валом к турбине.

В системе охлаждения присутствует необходимость восполнения теплоносителей, в частности, масла. Это связано с естественным процессом выработки при высоких температурах. Расход напрямую зависит от количества выделяемой теплоты в подшипниках и максимальной температуры нагрева [2]. Именно поэтому важно своевременно производить обслуживание системы охлаждения.

Роль масла в эксплуатации турбоустановок очень велика, от качества масла напрямую зависит показатель работы и эффективности любой турбоустановки, поэтому важно подбирать масло подходящее по своим характеристикам [3]. Подводя итоги, можно сказать, что масляное охлаждение на турбинах парогазовых установок достаточно эффективно, так как масло выступает в роли теплоносителя и смазки для многих элементов энергетической установки.

### **Источники**

1. Чичирова Н.Д., Шагиев Н.Г., Сайтов С.Р., Ляпин А.И., Закирова И.А., Дудкин Т.А., Груздеев В.Б. Компьютерный тренажёрно-аналитический комплекс блока ПГУ-450 МВт. Учебное издание. –2018г.

2. Ведрученко В.Р., Крайнов В.В., Казимиров А.В. Уточненная методика расчета сгорания в топке парового котла по схеме комбинированной парогазовой установки со сбросом газов в топку // Промышленная энергетика. – 2005.–№ 6. — С. 31–35.

3. Стулов А.В., Ляпин А.И. . Выбор оборудования газового хозяйства ПГУ. Студенческий вестник. 2019. № 47-8 (97). С. 40-41.



## ПОТРЕБНОСТЬ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА НА ТРАНСПОРТЕ

А.Р. Миниханова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Р.Н. Закиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

minihanova2002@gmail.com

В данной работе рассматривается производство водородного топлива, применение его на транспорте, а также проводится анализ возможности строительства водородных заправочных станций на территории Российской Федерации.

**Ключевые слова:** водород, водородное топливо, водородная энергетика, водородный двигатель, экология, водородный транспорт.

## HYDROGEN DEMAND AS A FUEL FOR TRANSPORT

A.R. Minikhanova

KSPEU, Kazan, Russia

minihanova2002@gmail.com

In this article considers the production of hydrogen fuel, its use in transport, and also analyzes the possibility of building hydrogen filling stations on the territory of the Russian Federation.

**Keywords:** hydrogen, hydrogen fuel, hydrogen energy, hydrogen engine, ecology, hydrogen transport.

Одним из перспективных путей развития водородной отрасли является зеленый водород [1]. Получают его процессом электролиза, в котором вода расщепляется на кислород и водород с использованием энергии. Современное производство водорода основано на природном газе и угле. После сгорания водородно-топливной смеси образуется только пар или вода [2]. Водород воспламеняется с более высокой скоростью, чем другие виды топлива. Он обладает высокой теплоотдачей. Коэффициент полезного действия водородного топлива достигает 90%, что гораздо выше КПД ДВС или двигателя, работающего на дизельном топливе (25-50%) [3].

В наши дни быстрыми темпами строятся и вводятся в эксплуатацию водородные заправочные станции (далее ВЗС). Согласно исследованию

аналитического агентства Information Trends на сегодняшний день количество ВЗС в мире превысило 1 000 единиц.

Для России транспорт на водороде что-то необычное, но очень перспективное. Существует только одна ВЗС в Черноголовке. К 2030 году планируется запуск в эксплуатацию не менее 1000 водородных заправок по всей территории РФ. Об этом говорится в утвержденной правительством концепции по развитию производства электрического автотранспорта до 2030 года.

Хоть и существуют стратегии по развитию данного направления, однако в России, наверное, еще долго не будет востребован личный водородный транспорт, так как для него пока нет инфраструктуры [4-5]. Как вариант для общественного транспорта, да. Связано это с тем, что не требуется уже массовое количество ВЗС, а все водоробусы будут возвращаться в парк и там же заправляться. Отличительной особенностью является то, что водородные машины оснащены аккумулятором, то есть они гибридные. Это гораздо выигранней, по сравнению с электромобилями. Можно еще подметить, что запас хода водоробуса выше, чем у электробуса.

Стоимость водородного топлива будет зависеть от метода его получения и от места производства. Создавать водородное топливо на самой ВЗС, гораздо выгоднее, чем сжимать его и отправлять по трубопроводу от завода до заправочной станции.

В экспериментальном формате был выполнен расчет приблизительного расположения и количества ВЗС в направлении Набережные Челны — Санкт-Петербург, а также рассмотрены виды водородного транспорта (табл. 1). Можно предположить, что для Toyota Mirai 2020 хватит по одной заправке в каждом городе, а также одной между Казанью и Москвой, приблизительно в 300 км от Москвы. Следовательно, необходимо 5 водородных заправочных станций. Здесь мы рассмотрели транспорт с самым большим запасом хода (785 км). Также есть водоробус («КамАЗ-6290»), который может пройти до 250 км при полной заправке баллонов. Для него мы также установим по одной ВЗС в каждом городе (т.е. 4 заправочные станции), а также:

- одну между Набережными Челнами и Казанью;
- четыре между Казанью и Москвой;
- три между Москвой и Санкт-Петербургом.

Следовательно, в направлении Набережные Челны — Санкт-Петербург необходимо построить и ввести в эксплуатацию 12 водородных заправочных станций для обеспечения благоприятного и беспроблемного

передвижения между городами.

Таблица 1

Сравнительная характеристика видов водородного транспорта

Вид транспорта	Страна производитель	Объем бака (баллона)	Кол-во баллонов	Средний расход водорода	Запас хода
Toyota Mirai 2020, седан, 2 поколение, JPD20	Япония	60/62,4 л	2	15,6л/100км	785 км
Водоробус («КамАЗ- 6290»)	Россия	24 кг	6	57,6кг/100км	250 км
Aurus Senat	Россия	8 кг	2	1,34кг/100км	600 км
GAZelle City FCEV	Россия	-	-	-	300 км

Таким образом, водородный транспорт будет развиваться вместе со строительством ВЗС, будут заправочные станции, будут и водородные автомобили. Наблюдается линейная зависимость. Перед учеными стоит еще ряд технологических, технических и экономических задач, которые предстоит решить. Так, в отдалённом будущем решение этих задач сделает водородное топливо очень эффективным.

### Источники

1. Радченко, Р. В. Водород в энергетике : учеб. пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 229с.

2. What is green hydrogen? // Sustainability URL: <https://clck.ru/sGeQT> (дата обращения: 19.02.2023).

3. Исмаатов Ж.Ф., Аширов В.Р., Садуллаев М.Х. Водород - топливо будущего // Достижения науки и образования. - 2019. - №6(47). - С. 7-8.

4. Крапивин С. Дефицит отечественных разработок и заправок: что мешает развитию водородного транспорта в России // Дайджест избранных статей издания "Энергетика и промышленность России" Том 1.. - СПб.: Издательский дом "Реальная экономика", 2022. - С. 122-123.

5. Сафин А.З. Перспективы водородных заправочных станций // Студенческие научные исследования. Том 2. Часть 1.. - Пенза: Наука и Просвещение, 2021. - С. 31-34.

## **АНАЛИЗ БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ С ФИЛЬТРОМ СМЕШАННОГО ДЕЙСТВИЯ**

А.В. Низамаева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ю. Власова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
nizamaevan@mail.ru

Одной из актуальных проблем эксплуатации тепловых электрических станций является предотвращение образования микробиологических отложений на установках теплоэнергетического оборудования. Виды бактерий и их количество могут меняться в зависимости от источника водоснабжения, сезонности и водно-химического режима. Поэтому биологическому контролю должно уделяться особое внимание. В статье рассмотрен метод анализа общего органического углерода, применяемый для контроля качества воды.

**Ключевые слова:** микроорганизмы, тепловые электрические станции, водоподготовка, бактерии.

## **ANALYSIS OF BACTERIOLOGICAL CONTAMINATION IN A WATER TREATMENT SYSTEM WITH A MIXED FILTER**

A.V. Nizamaeva

KSPEU, Kazan, Russia  
nizamaevan@mail.ru

One of the urgent problems in the operation of thermal power plants is the prevention of the formation of microbiological deposits at the installations of thermal power equipment. Types of bacteria and their number may vary depending on the source of water supply, seasonality and water chemistry. Therefore, biological control should be given special attention. The article discusses the method of analysis of total organic carbon used to control water quality.

**Keywords:** technical water supply system, thermal power plants, biological deposits, bacteria, sediment formation.

Надежность, экономичность и безопасность теплоэнергетического оборудования на ТЭЦ зависят от качества исходной воды и поддержания

водно-химического режима. Установки водоподготовки и энергетическое оборудование на тепловой электрической станции (ТЭС) подвержены постоянному размножению и накоплению биологических микроорганизмов [1].

Образование бактерий происходит при поступлении в тракт различных примесей совместно с добавочной водой. Их развитие негативно сказывается на техническом состоянии оборудования, вследствие чего ведут к образованию отложений, из-за которых нарушается процесс теплообмена, они способствуют ухудшения вакуума в конденсаторах и заметному снижению КПД ТЭС.

Для снижения бактериологического воздействия на оборудования необходимо тщательно продумывать систему подготовки воды, которая объединяет осветлитель, применение ионнообменных фильтров, либо баромембранных установок. В большинстве случаев на ТЭС применяют традиционные технологии с предварительной очисткой с блоками ионного обмена. Иногда на хвосте установки ставят фильтр смешанного действия, который обеспечивает необходимое качество воды [2].

Показатели содержания углерода в воде являются удобным методом определения общего качества воды. Многие страны используют его, как первичную проверку.

Содержание углерода в воде может привести к росту биоплёнок на поверхностях трубопроводах, в дальнейшем вода заражается различными патогенным микроорганизмам [3].

Для определения количества углерода используют такое устройство, как анализатор общего органического углерода (ООУ). Согласно существующим нормативным документам, ГОСТ 31958-2012 «Вода. Методы определения содержания общего органического углерода», сущность метода заключается в каталитическом окислении содержащихся в пробе воды соединений углерода при температуре от 550°C 1000°C в присутствии кислорода до диоксида углерода. Определение ООУ осуществляется с использованием детектора инфракрасного излучения. Устройство определяет количество углерода в диапазоне от 1 до 1000 мг/л. Он позволяет принимать оперативные меры при обнаружении, изолировать примеси и обеспечивать соответствие требованиям.

В современных условиях повышение химического контроля над качеством воды является приоритетной задачей развития теплоэнергетики [4].

### **Источники**

1. А.Ш. Низамова. Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты (2 часть) // Учебное пособие. 2010.

2. С.М. Власов, А.Ю. Власова, Н.Д. Чичирова, О.Е. Бабилов. Исследование бактериального загрязнения теплоносителя схемы химического обессоливания на Казанской ТЭЦ-1 // Теплоэнергетика. 2022. №3. С. 86-91.

3. Вольф П. В., Романов А. В., Сняжкова М. А. Подготовка воды для парогенераторов с помощью ионообменников // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83. – №. 5. – С. 858-860.

4. Поворов А. А., Корнилова Н. В., Платонов К. Н. Технология получения глубоко обессоленной воды на основе ионного обмена без использования фильтров смешанного действия // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – №. 1. – С. 34-37.

УДК 628.16

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОСНОВНОГО КОНДЕНСАТА В ФИЛЬТРАХ СМЕШАННОГО ДЕЙСТВИЯ**

А.В. Низамаева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nizamaevan@mail.ru

При эксплуатации тепловых электрических станций актуальной проблемой является поддержание допустимого водного режима для блоков, работающих с прямоточными котлами на сверхкритических параметрах пара. В статье рассмотрен метод очистки основного конденсата в блочных обессоливающих установках, в которых используются фильтры смешанного действия.

**Ключевые слова:** тепловые электрические станции, обессоливание, фильтры.

## **ANALYSIS OF BIOLOGICAL SEDIMENTS IN THE TECHNICAL WATER SUPPLY SYSTEM AT TPP**

A. V. Nizamaeva

KSPEU, Kazan, Russia

nizamaevan@mail.ru

During the operation of thermal power plants, an urgent problem is the maintenance of an acceptable water regime for units operating with once-through boilers at supercritical steam parameters. The article considers a method for cleaning the main condensate in block desalination plants that use mixed-bed filters.

**Keywords:** thermal power plants, desalination, filters.

В энергетических установках вода циркулирует в замкнутой системе, поэтому концентрация примесей в ней возрастает. Часть примесей поступает в контур с циркулирующей охлаждающей водой через неплотности в трубной системе конденсатора, а также с добавочной водой и с реактивами при обработке воды [1].

В экранных трубах прямоточного котла происходит испарение всей воды, поэтому отсутствует возможность организации продувки. Примеси ввиду различия их растворимости в воде и паре в том или ином количестве выпадают в виде отложений на внутренних поверхностях труб, а оставшаяся часть выносятся с паром. Накопление этих отложений периодически удаляют путем проведения химической промывки котла.

Для успешной работы энергетических установок необходимо очищать воду от присутствующих в ней примесей. Особенно прямоточные котлы требуют питательную воду очень высокого качества, для чего необходима стопроцентная очистка конденсата.

В виду выше сказанного, на энергоблоках с прямоточными котлами докритического и сверхкритического давления после первой ступени конденсатных насосов устанавливается блочная обессоливающая установка (БОУ) и далее конденсатные насосы второй ступени направляют основной конденсат турбины в подогреватели низкого давления. БОУ устанавливаются в рассечку между ступенями конденсатных насосов, так как фильтры БОУ не выдерживают большого давления.

Для подготовки добавочной воды ТЭС и АЭС наиболее широко применяются схемы двухступенчатого ионирования, при этом на ТЭС с прямоточными котлами при подаче добавочной воды в конденсатор турбины блочная обессоливающая установка играет роль третьей ступени обработки добавочной воды.

Для обеспечения установленных норм качества питательной воды по жесткости предусматриваются обработка добавочной воды по схеме трехступенчатого обессоливания и очистка турбинного конденсата на блочной обессоливающей установке. Кроме того, осуществляются контроль за присосами охлаждающей воды в конденсаторах кондуктометрами или ручным способом, определение жесткости в турбинном конденсаторе перед БОУ. При обнаружении ухудшения качества конденсата принимаются меры по устранению присосов [2].

БОУ содержит обычно две группы фильтров: механических – для удаления мелкодисперсных частиц и фильтров смешанного действия (ФСД) – для удаления ионов. В качестве механических фильтров

используют сульфоугольные и электромагнитные фильтры. Сульфоугольные фильтры – это механические фильтры со слоем сульфоугля высотой в 1 м. Электромагнитные фильтры успешно удаляют магнетит  $Fe_3O_4$  – основной продукт коррозионного загрязнения воды в замкнутой системе.

Сульфоугольные фильтры кроме механических примесей удаляют из воды аммиак, который вводится в воду для поддержания высокого рН. Применение таких фильтров удлиняет срок службы ФСД, обменная емкость которых по аммиаку не истощается.

Фильтры смешанного действия (ФСД) применяются на ТЭС при обессоливании и обескремнивании турбинного конденсата,

Поток воды под напором поступает в фильтр, равномерно распределяется и проходит через слой смешанной катионитно-анионитной шихты в направлении сверху вниз. Катионы  $Na^+$ ,  $K^+$  и анионы кремниевой кислоты остаются в зернах материала, обеспечивая глубокообессоленный фильтрат, который выводится из аппарата в сборный коллектор. Разделение ионитов происходит снизу-вверх, после чего идет их регенерация щелочью и кислотой. Отмывка ионитов производится глубоко обессоленной водой. Применяются два вида ФСД: с внутренней регенерацией и с выносной [3].

Загрузка фильтра состоит из смеси сильнокислотного катионита в Н-форме и сильноосновного анионита в ОН-форме. При пропуске через ФСД воды происходит глубокое обессоливание и обескремнивание воды, благодаря наличию в нем огромного числа ступеней Н- и ОН-ионирования. Наиболее подходящими для загрузки в ФСД являются катионит КУ-2 и анионит АВ-17.

Недостаток этой технологии заключается в необходимости разделения, отдельной регенерации и тщательного перемешивания катионита и анионита для восстановления сорбционной способности ионитов (внутренняя регенерация). Она производится следующим образом. В фильтре установлено три распределительных устройства: верхнее, среднее и нижнее. При разделении ионитов они располагаются следующим образом: анионит – в верхней части, катионит – в нижней. Регенерируются слои одновременно или по очереди, тогда через другой слой пропускается «запирающий» поток воды. После отмывки слоев перемешивание производится сжатым воздухом. Продолжительность этого процесса составляет 4 – 5 часов. Бывают фильтры с внешней регенерацией. Система выносной регенерации состоит из двух, иногда трех фильтров-регенераторов. При внешней регенерации иониты заменяются заранее отрегенированной смесью катионита и анионита путем гидроперегрузки в течение 1 часа. Это увеличивает долю рабочего времени ФСД. Кроме



того, упрощаются конструкции внутренних устройств и наружных коммуникаций на фронте фильтра. Применение внешней регенерации исключает возможность попадания регенерационных растворов кислоты или щелочи в фильтрат [4].

Надежность и экономичность станции напрямую зависит от качества воды, поэтому очень важно тщательно проводить процесс обессоливания воды и следить за ее показателями, чтобы они находились в нормируемых пределах.

### Источники

1. А.Ш. Низамова. Технология централизованного производства электрической энергии и теплоты (2 часть) // Учебное пособие. 2010. – 137 с.

2. Вольф П. В., Романов А. В., Синякова М. А. Подготовка воды для парогенераторов с помощью ионообменников // Журнал прикладной химии. – 2010. – Т. 83. – №. 5. – С. 858-860.

3. Поворов А. А., Корнилова Н. В., Платонов К. Н. Технология получения глубоко обессоленной воды на основе ионного обмена без использования фильтров смешанного действия // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – №. 1. – С. 34-37.

4. Филимонова, А.А., Чичиров А. А. Чичирова. Н.Д. Химия водной среды в теплоэнергетике// Учеб. пособие. Казань. Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 121 с

УДК 544.6.076.3

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ТОТЭ НА РАЗЛИЧНОМ ТОПЛИВЕ

А.В. Печенкин <sup>1</sup>, А.А. Филимонов <sup>2</sup>

Науч. рук. д.т.н., доцент Филимонова А.А.

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>pav\_0910@mail.ru, <sup>2</sup>vip.jokermigel@mail.ru

В работе предложено использование численного моделирования для проведения анализа чувствительности твердооксидных топливных элементов к изменению физико-химических параметров. Подобран наиболее подходящий тип для достижения оптимальных распределений.

**Ключевые слова:** численное моделирование, твердооксидный топливный элемент, декарбонизация, расход, распределение, катод, анод, электрод.

# NUMERICAL MODELLING BY FINITE ELEMENT METHOD OF THE OPERATING PARAMETERS OF A TCO WITH DIFFERENT FUELS

A.V. Pechenkin<sup>1</sup>, A.A. Filimonov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>pav\_0910@mail.ru, <sup>2</sup>vip.jokermigel@mail.ru

This paper proposes the use of numerical modelling to carry out sensitivity analysis of solid oxide fuel cells to changes in physico-chemical parameters. The most suitable type is selected to achieve optimum distributions.

**Keywords:** numerical simulation, solid oxide fuel cell, decarbonisation, flow, distribution, cathode, anode, electrode.

В настоящее время уделяется большое внимание снижению углеродного следа. Одним из способов декарбонизации производства энергии могут стать технологии с использованием твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) [1-3]. Трехмерное моделирование в коммерческих программных пакетах, использующих метод конечных элементов, дает возможность понять физические, химические и электро – химические явления, которые происходят в ТОТЭ. Большинство проектов гибридных систем ТОТЭ/ГТ, работают под давлением, установки в них связаны герметично, что позволяет достичь высокой и сверхвысокой энергоэффективности с относительно низкими капитальными затратами [3], Из-за отсутствия экспериментальных средств численное моделирование является одним из наиболее часто используемых методов исследования процессов, которые можно сверить с экспериментальными исследованиями по данным литературы [4]. Для проведения анализа чувствительности ТОТЭ к изменению физико – химических параметров была построена 3D-модель блока ячейки ТОТЭ, подразумевая симметричность и повторяемость блоков в пределах ячейки (рис.1). Площадь модели электронно-мембранного блока составила 0,00034 м<sup>2</sup>.

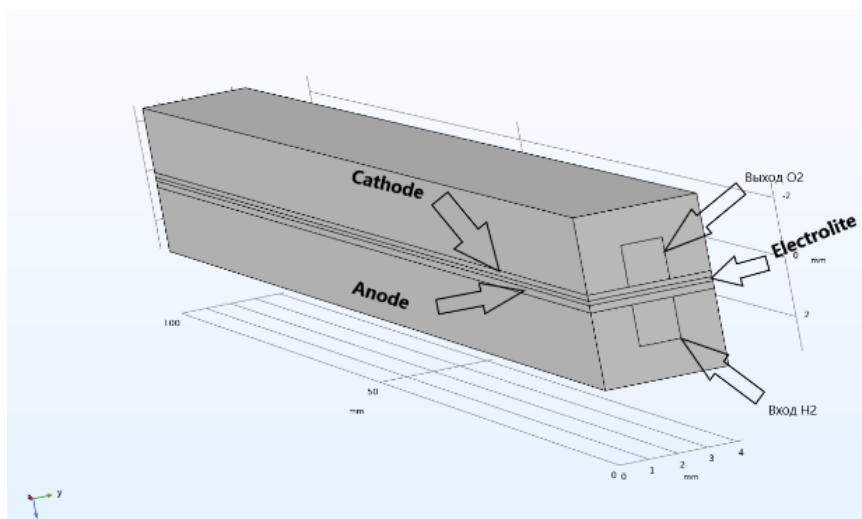


Рис. 1. 3-D модель ТОТЭ

В работе была исследована мощность и расход водорода в проточном планарном ТОТЭ с анодной поддержкой по начальным параметрам, таких как рабочая температура, расход, давление и массовые доли частиц. Численное моделирование показывает пространственное распределение потоков массы, оставшееся количество непрореагировавшего подаваемого водорода на аноде [5]. Для идентификации модели был построен график зависимости напряжения от плотности тока (рис.2), различие между смоделированной и реальной установками составило не более 1% или  $0,011 \text{ A/m}^2$ . Точность данных рассчитанных по модели CFD показывает, что имеется хорошее совпадение в пределах напряжения 0.5 В. При рабочем напряжении выше 0.6 В плотность тока из численной модели несколько выше экспериментальных данных, а при напряжении ниже 0.5 В плотность тока выше, чем в реальной модели.

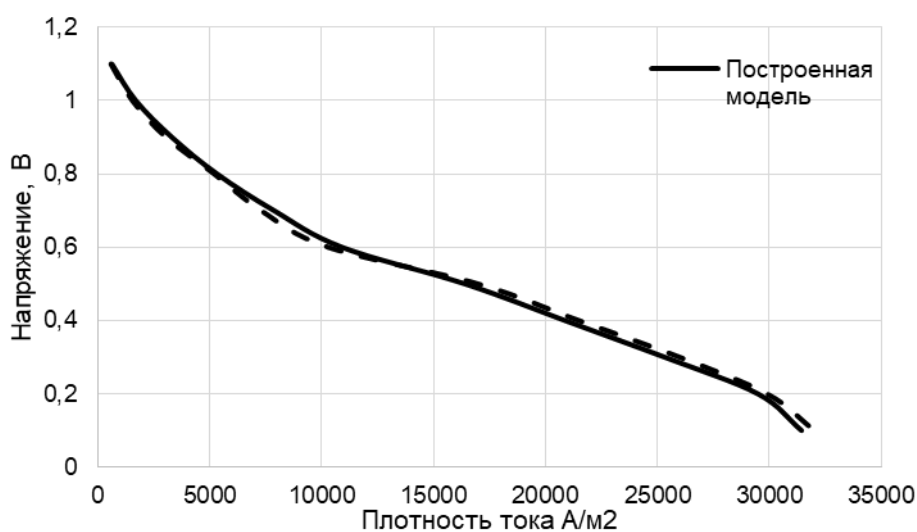


Рис. 2. Сравнение характеристик реальной модели и математической модели

Результаты, полученные в ходе численного моделирования, позволили произвести расчет с выводом следующих данных:

1. При расходе водорода  $3 \cdot 10^{-8}$  кг/с – коэффициент использования топлива составил 60 %, воздуха  $1 \cdot 10^{-7}$  кг/с – коэффициент использования воздуха составил 62 %;

2. Распределение температурных напряжений по каналу составил от 1123 до 1330 К. Наиболее термонапряженная область находится ближе к центру модели из-за экзотермической реакции образования водяного пара:



3. КПД топливного элемента с начальными параметрами составляет более 65%;

Полученные результаты дают возможность с помощью цифрового моделирования применять новые параметры топливного элемента. В связи с тем, что на высокотемпературный топливный элемент можно подавать различные виды низших углеводородов - метан, биогаз, синтез-газ, результаты цифрового моделирования позволят подобрать необходимые параметры по расходу топлива и воздуха для поддержания оптимального распределения температурного поля, плотности тока, предотвращения риска возникновения локального истощения топлива. Изменение конструкций топливных и воздушных каналов дает возможность подобрать наиболее подходящий тип для достижения оптимальных распределений.

### Источники

1. Федотов Ю.С. и др. Макроскопическое моделирование процессов переноса в планарных твердооксидных топливных элементах: оценка критических факторов // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2014. Т. 20. № 160. С. 26-37.

2. Pongratz G, Subotić V, Hochenauer C, Scharler R, Anca-Couce A, 2022 Solid oxide fuel cell operation with biomass gasification product gases: Performance- and carbon deposition risk evaluation via a CFD modelling approach Energy T. 244 (B) 123085.

3. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Печенкин А.В. Обзор проектных схем гибридных систем с твердооксидным топливным элементом и газовой турбиной для комбинированного производства тепла и электроэнергии // Журнал сибирского федерального университета. серия: техника и технологии. 2022 год. Т.15. № 7.

4. Kim D.H., Bae Y., Lee S., Son Ji-W., Shim J.H., Hong J., Thermal analysis of a 1-kW hydrogen-fueled solid oxide fuel cell stack by three-

dimensional numerical simulation // Energy Conversi. Manag. 2020. Т. 222. 113213.

5. Li Pei-W, Chyu M K, 2003 Simulation of the chemical/electrochemical reactions and heat/mass transfer for a tubular SOFC in a stack, J. Power Sources Т. 124. № 2. С. 487-498.

УДК 621.311

## **ОБ ЭФФЕКТИВНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА УСТАНОВКИ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

О.В. Посадскова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.И. Ляпин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

olya\_10\_posadskova@mail.ru

В работе рассмотрены варианты модернизации теплоснабжающих систем источников и установок теплопотребляющих предприятий и организаций ЖКХ. Рассмотренные мероприятия и применяемые технологии направлены на повышение эффективности обеспечения нагрузок систем горячего водоснабжения потребителей и сокращение топливных затрат объектов генерации. В рамках обзора применяемых технологий проведен анализ и оценка оптимальных методов регулирования нагрузок горячего водоснабжения для систем централизованного теплоснабжения.

**Ключевые слова:** горячее водоснабжение, теплоснабжение, энергоэффективность, централизованное теплоснабжение.

## **ON THE EFFICIENT DISTRIBUTION OF LOADS ON HOT WATER INSTALLATIONS FOR DISTRICT HEATING SYSTEMS**

O.V. Posadskova

KSPEU, Kazan, Russia

olya\_10\_posadskova@mail.ru

The paper considers options for the modernization of heat supply systems of sources and installations of heat-consuming enterprises and housing and communal services organizations. The considered measures and applied technologies are aimed at improving the efficiency of providing loads of hot water supply systems to consumers and reducing fuel costs of generation facilities. As part of the review of the technologies used, the analysis and evaluation of optimal methods for regulating the loads of hot water supply for district heating systems was carried out.

**Keywords:** hot water supply systems, heat supply, energy efficiency, district heating.

Современные принципы и подходы повышения энергетической эффективности в системах теплоснабжения и установок горячего водоснабжения (ГВС) имеют большое значение для эксплуатирующих предприятий жилищно-коммунального хозяйства и объектов генерации (ТЭЦ). Для достижения этой цели необходимы постоянное и своевременное обновление нормативно-правовой документации, конструкторско-технической части и режимов эксплуатации установок и систем. В процессе эксплуатации, из-за несоответствия подобранных режимов работы систем теплоснабжения их фактическим условиям работы, превышения инерции в системах транспортировки теплоносителя, недостаточного уровня автоматизации потребителей тепла и некачественной регулировки тепловой нагрузки возникают потери топливно-энергетических ресурсов, что в свою очередь нивелирует положительные стороны от эксплуатации ТЭЦ [1].

Для повышения энергетической эффективности теплофикационных систем, узлов регулирования и теплопотребляющих установок абонентов можно осуществлять проведение энергоаудита и корректировку схем и режимов работы теплоисточников, систем транспортировки теплоносителя и установок абонентов ЖКХ.

Для совершенствования систем централизованного теплоснабжения, необходимо внедрение энергоэффективных технологий обеспечения нагрузок ГВС. В настоящее время разработаны подходы к регулированию расхода воды, которая циркулирует в системе ГВС. Данные технические решения могут подразумевать обеспечение нагрузки ГВС с учетом параметров воды в водоразборных точках [2]. При применении данного метода циркуляционная вода системы ГВС подается совместно с обратной сетевой водой на вход смесительного устройства, что позволяет снизить расход сетевой воды на горячее водоснабжение из обратного трубопровода теплосети.

Кроме того, достижение целей повышения энергетической эффективности использования тепловых ресурсов потребителями объектов ЖКХ возможно осуществлением регулирования расхода горячей воды, подаваемой на циркуляцию в зависимости от температуры по заданному сигналу от термодатчика горячей воды. При этом в циркуляционном трубопроводе расход воды имеет переменное значение. Когда забор горячей воды достигает максимального значения из водоразборных приборов расход циркулирующей воды снижается с помощью регулятора по сигналу от термодатчика. Когда потребителями разбор горячей воды снижается до минимума в системе увеличивается расход циркулирующей

воды в трубопроводе, что способствует поддержанию нормативной температуры горячей воды и повышению качества работы системы ГВС.

Одним из способов повышения эффективности работы системы теплоснабжения является применение в технологических схемах тепловых потребителей дополнительно тепловых насосов и увеличение часов его работы в составе установок. Включение испарителя тепловых насосов в схему теплового пункта можно реализовать таким образом, чтобы греющий агент можно было подавать из подающего и обратного трубопроводов теплосети. Охладитель конденсата целесообразно подключить по греющей среде к трубопроводу обратной сетевой воды по ходу движения воды после отбора греющего агента в испаритель тепловых насосов [3]. Использование тепловых насосов является научно-техническим обоснованием концепции совершенствования технологий обеспечения тепловой нагрузки в отечественных системах теплоснабжения. Нагрузка ГВС обеспечивается при помощи тепловых насосов, низкопотенциальным источником теплоты для которых является сетевая вода. Эффективность применения теплового насоса формируется за счет разности теплопотребления при работе системы теплоснабжения с изломом и без излома температурного графика в переходные периоды отопительного сезона. Основные затраты при работе теплового насоса будут состоять из стоимости, потребленной компрессором электроэнергии и количества сэкономленной тепловой энергии [1].

Предложенные технические решения могут повлиять на рост качества и экономичности работы систем ГВС путем поддержания неизменной заданной температуры горячей воды, которая поступает к водоразборным приборам потребителей, затрачивая только необходимый объем воды в циркуляционном трубопроводе [4].

### **Источники**

1. Ротов П.В. Совершенствование систем централизованного теплоснабжения, подключенных к ТЭЦ, путем разработки энергоэффективных технологий обеспечения нагрузок отопления и горячего водоснабжения //Дисс. на соискание степени д.т.н., Иваново: ИГЭУ. – 2015.

2. Ениватов А.В. и др. Энергоэффективная технология обеспечения тепловой нагрузки Саранской ТЭЦ-2 //Инженерный вестник Дона. – 2022. – №. 3 (87). – С. 565-576.

3. Ляпин, А.И. Расчет системы ГВС / А. И. Ляпин, Э. Д. Субханкулов, Н. Ф. Сахибгареев // Advances in Science and Technology:

Сборник статей XLV международной научно-практической конференции, Москва, 15 июня 2022 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Актуальность.РФ", 2022. – С. 135-136. – EDN HSWBBY.

4. Ляпин, А.И. К вопросу снижения количества образующихся отложений в системах ТЭС - закрытая тепловая сеть / Н. Д. Чичирова, А. А. Чичиров, А. И. Ляпин, Б. А. Гиниятуллин // Труды Академэнерго. – 2008. – № 2. – С. 59-68. – EDN JVFTUF.

УДК 661.96

## **НЕКОТОРЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА И ИХ ОСОБЕННОСТИ**

Ш.К. Сабитов

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. А.А. Чичиров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
larrypoistone@gmail.com

Электролизер – это устройство, которое используется для преобразования электрической энергии в химическую энергию путем электролиза воды или других электролитов. Они играют важную роль в процессах производства водорода, хлора и других химических продуктов. В этой статье мы рассмотрим конструкцию и материалы, используемые в электролизерах.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, энергетика.

## **SOME MATERIALS IN THE DESIGN OF THE ELECTROLYZER AND THEIR FEATURES**

S.S. Kamilevich

KSPEU, Kazan, Russia  
larrypoistone@gmail.com

An electrolyser is a device that is used to convert electrical energy into chemical energy by electrolyzing water or other electrolytes. They play an important role in the production of hydrogen, chlorine and other chemical products. In this article, we will look at the design and materials used in electrolyzers.

**Keywords:** hydrogen energy, energy.



Электролизер состоит из двух электродов – катода и анода, разделенных электролитической камерой. Катод – это отрицательный электрод, который притягивает положительные ионы, а анод – это положительный электрод, который притягивает отрицательные ионы. Электролитическая камера наполнена электролитом, который содержит ионы, которые будут разделены в процессе электролиза. Кроме того, электролизер может иметь систему охлаждения, которая предотвращает перегрев и повреждение устройства [1]. Он также может иметь систему контроля тока и напряжения, которая обеспечивает точность процесса электролиза. Материалы, используемые в электролизерах, должны быть химически стойкими, не подверженными коррозии и иметь хорошую электропроводность [2].

Некоторые из материалов, которые могут использоваться для электродов, включают в себя [3,4]:

Платина – это материал, который обычно используется для катода в электролизерах, которые работают с водой. Он является химически стойким и имеет высокую электропроводность.

Графит – это материал, который обычно используется для анода в электролизерах, которые работают с водой. Он имеет хорошую электропроводность, химически стоек и не подвержен коррозии. Нержавеющая сталь – это материал, который может использоваться для анода в электролизерах, которые работают с хлоридами и серной кислотой. Он химически стоек, но его электропроводность ниже, чем у платины или графита.

В данной статье, было изучено строение электролизера и приведен небольшой анализ материала используемого при его построении и некоторые особенности материалов.

### **Источники**

1. Hydrogen Analysis Resource Center. (2016), Hydrogen Pipelines September 2016, Hydrogen Tools, [Электронный ресурс]. [www.h2tools.org/sites/default/files/imports/files//Hydrogen%2520Pipelines%2520September%25202016.xlsx](http://www.h2tools.org/sites/default/files/imports/files//Hydrogen%2520Pipelines%2520September%25202016.xlsx) (дата обращения: 12.01.23).

2. Staffell, L. et al. The role of Hydrogen and Fuel Cells in the Global Energy System, The Royal Society of Chemistry, [Электронный ресурс]. [www.pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2019/ee/c8ee01157e](http://www.pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2019/ee/c8ee01157e) (дата обращения: 1.03.23).

3. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в

Татарстане. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(6):79-91. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-6-79-91>

4. NREL (National Renewable Energy Laboratory). (2020), Gasoline Internal Combustion Engine Vehicle, NREL, [Электронный ресурс]. [www.atb.nrel.gov/transportation/2020/index.html?t=lg](http://www.atb.nrel.gov/transportation/2020/index.html?t=lg). (дата обращения: 10.01.23).

УДК 621.311.22

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПЕРЕГРЕВА ПАРА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

Д.А. Сараева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.В. Евгеньев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Elfjam@mail.ru

В статье рассмотрена эффективность применения промежуточного перегрева пара на конденсационных и теплофикационных паровых турбинах и его влияние на экономичность данных турбоустановок.

**Ключевые слова:** промежуточный перегрев пара, паровая турбина, турбоустановка, эффективность работы, экономичность.

## **THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF INTERMEDIATE STEAM SUPERHEATING AND ITS INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF A STEAM TURBINE PLANT**

D.A. Saraeva

KSPEU, Kazan, Russia

Elfjam@mail.ru

The article considers the effectiveness of the use of intermediate superheating of steam in condensing and heating steam turbines and its effect on the efficiency of these turbine plants.

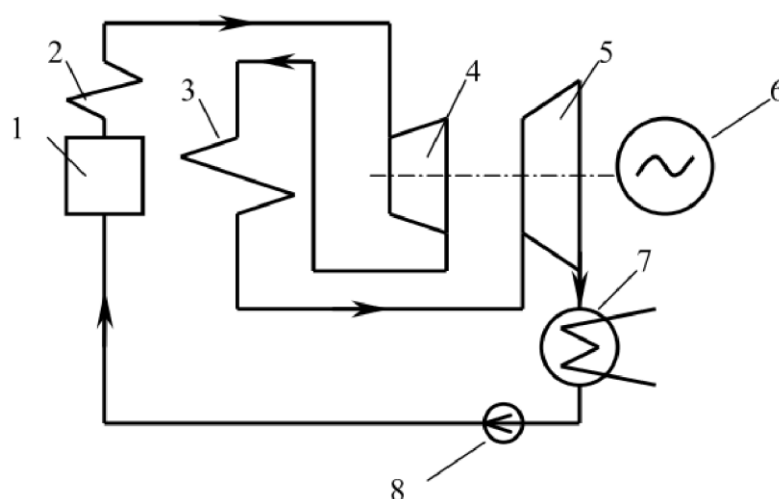
**Keywords:** reheating of steam, steam turbine, turbine plant, operating efficiency, economy.

Одним из способов повышения экономичности паротурбинной установки является промежуточный перегрев пара.

Применение промежуточного перегрева пара приводит к снижению влажности пара в последних ступенях турбины, увеличению относительного внутреннего и термического КПД турбоустановки и снижению эрозионного износа рабочих лопаток последних ступеней.

Обычно применяется одноступенчатый промежуточный перегрев пара. Для особенно крупных энергоблоков при дорогом используемом топливе возможно применение двухступенчатого промежуточного перегрева пара. Такая схема применена на некоторых крупных энергоблоках в США. Вторая ступень промежуточного перегрева дает дополнительное повышение КПД и соответственно дополнительную экономию теплоты 1,5-2,5 %, для энергетических блоков большой мощности и при дорогом топливе может оправдать усложнение и удорожание установки [1].

Существует несколько способов промежуточного перегрева пара: газовый, паровой и с промежуточным теплоносителем. В нашей стране применяется преимущественно газовый промежуточный перегрев, при котором острый пар совершает работу в ступенях цилиндра высокого давления 4, после чего направляется в котельный агрегат 3 для повторного перегрева, который производится при постоянном давлении до температуры, обычно равной начальной температуре свежего пара 540-570 °С (см. рисунок). После перегрева пар из котла 3 возвращается в цилиндр низкого давления 5 турбины и расширяется в ней до конечного давления на входе в конденсатор 7 [2].



Принципиальная схема паросиловой установки с промежуточным перегревом пара:  
1 - парогенератор, 2 - пароперегреватель, 3 - промежуточный пароперегреватель, 4 - цилиндр высокого давления паровой турбины, 5 - цилиндр низкого давления паровой турбины, 6 - электрогенератор, 7 - конденсатор, 8 - питательный насос

При начальных параметрах пара 12,75 МПа (130 кгс/см<sup>2</sup>) и 565 °С в турбинах мощностью 150 МВт и 200 МВт промежуточный перегрев до 565 °С теоретически дает экономию топлива около 7 % по сравнению с установкой при тех же начальных параметрах без промперегрева. С учетом потерь давления в трубопроводах и промежуточном перегревателе эта экономия снижается до 4 % [3].

Промежуточный перегрев пара, обладая рядом достоинств, имеет и недостатки. Промежуточный перегрев пара приводит к усложнению конструкции и эксплуатации паротурбинной установки. В тракте промежуточного перегрева имеют место потери давления, которые примерно составляют 10 % от давления пара промежуточного перегрева. Также усложняется конструкция парового котла и его схема регулирования.

Кроме того, эффективность применения промежуточного перегрева на конденсационных электростанциях (КЭС) и теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) разная.

Промежуточный перегрев как средство ограничения конечной влажности пара для теплофикационных турбин докритического начального давления (до 12,7 МПа) в теплофикационных режимах работы не требуется, так как основной поток пара отбирается для внешнего потребления и этот пар еще имеет небольшой перегрев или незначительную влажность (в зависимости от давления пара в отборе). Сквозной конденсационный поток пара в этом случае невелик, поток работает в последних ступенях турбины с малым КПД, благодаря чему имеет допустимую конечную влажность. Поэтому относительный выигрыш в тепловой экономичности от применения промежуточного перегрева пара на ТЭЦ меньше, чем на КЭС, и может составить 3-4 % в теплофикационном режиме работы. Однако для крупных теплофикационных турбоустановок давлением 13 МПа с отопительной нагрузкой созданы варианты турбоустановок с промежуточным перегревом пара (Т-180-130 ЛМЗ) [1].

Для ТЭЦ сверхкритических параметров (23,5 МПа) промежуточный перегрев пара необходим для поддержания допустимой конечной влажности пара. При промежуточном перегреве пара на ТЭЦ возрастает температура пара, отпускаемого потребителю, ввиду этого при заданной тепловой нагрузке понижается расход пара в отбор, чем снижается эффект от повышения работы теплофикационного потока пара в турбине, обусловленного промежуточным перегревом. В России промежуточный перегрев пара применяют на отопительных ТЭЦ с турбинами Т-250-240 ЛМЗ (сверхкритического давления 23,5 МПа) [4].

Промежуточный перегрев пара является эффективным средством

повышения экономичности паротурбинной установки и имеет свои достоинства и недостатки.

### **Источники**

1. Начальные параметры и промежуточный перегрев пара. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://vunivere.ru/work20121>.
2. Промежуточный перегрев пара. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://tesiaes.ru/?p=6054>.
3. Зайнуллин Р.Р., Галяутдинов А.А. Влияние промежуточного перегрева пара на тепловую экономичность тепловой электростанции. // Инновационная наука. – 2016. - № 5, т.2. – С. 102-104.
4. Параметры пара. Промежуточный перегрев пара. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.plysh.narod.ru/3.htm>.

УДК 628.1

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ ВОДЫ НА ТЭС В ПАВОДКОВЫЙ ПЕРИОД**

Д.А. Сараева

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент А.Ю. Власова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[elfjam@mail.ru](mailto:elfjam@mail.ru)

В статье представлены причины технологических изменений в системе подготовки воды на ТЭС в паводковый период и вариант реализации изменений; обзор фильтра органопоглотителя, преимущества и недостатки данного метода очистки воды.

**Ключевые слова:** органические соединения, ионообменные материалы, загрязнение, паводковый период, фильтры, катионитные смолы, анионитные смолы.

## **TECHNOLOGICAL CHANGES IN THE WATER TREATMENT SYSTEM AT TPP DURING THE FLOOD PERIOD**

D.A. Saraeva

KSPEU, Kazan, Russia

[elfjam@mail.ru](mailto:elfjam@mail.ru)

The article presents the reasons for technological changes in the water treatment system at TPPs during the flood period and the implementation of the changes; an overview of the absorbent filter, the advantages and disadvantages of this method of water purification.

**Keywords:** organic compounds, ion-exchange materials, pollution, flood period, filters, cation-exchange resins, anion-exchange resins.

Качественный состав поверхностных вод зависит от многочисленных факторов: заселенности прибрежных районов, метеорологических условий, времен года и других. Одной из особенностей воды в паводковый период является увеличение количества взвешенных веществ, ила и гумусовых кислот, все это относится к классу органических соединений. Ухудшение показателей качества воды происходит за счет смыва взвешенных веществ с водосбора, ежегодного периода циркуляции воды, а также повышения температуры окружающего воздуха [1].

В данный период на ТЭС увеличивается нагрузка на осветлительное оборудование, так как увеличивается количество взвешенных частиц. А также во время весеннего паводка наблюдается наибольшая эффективность удаления органических веществ в процессе водоподготовки путем реагентной обработки и фильтрацией. Это необходимые меры для предотвращения органических отложений на стенках оборудования.

Фильтры органопоглотители представляют собой ионообменные смолы, состоящие из комбинированных полимеров. Устойчивость и способность к поглощению смолам придает акриловая матрица. Принцип действия такого фильтра заключается в обработке воды через 2 слоя определенных материалов: для удаления органических соединений вода проходит через слой органопоглощающей анионитной смолы в  $\text{Cl}^-$ , от примесей катионов - через слой катионитной смолы в  $\text{Na}^+$  или  $\text{H}^+$ , которая располагается под слоем анионитной смолы [2]. Их ставят в самом начале ионитовой цепочки, после механических фильтров.

Периодическая регенерация осуществляется с помощью подачи раствора  $\text{NaCl}$  или  $\text{HCl}$ . Раствор подают снизу вверх, он проходит через два слоя ионообменных материалов, которые находятся в зажатом состоянии к слою инертного материала.

Есть множество типов данного фильтра, которые обладают разной полярностью, пористостью и гидрофобностью, и которые удаляют различные типы органических соединений [3]. Поэтому, чтобы определить, какой тип органопоглотителя подходит для конкретного предприятия, необходимо знать точный состав органических веществ.

Преимуществами данного способа очистки воды являются способность справляться с большими концентрациями широкого спектра органических загрязнений, быстрая регенерация, экономия на промывочных реагентах, длительный срок эксплуатации. Из недостатков стоит отметить, что для регенерации органопоглощающего анионита требуются значительные расходы поваренной соли.

Таким образом, на ТЭС в период весенних паводков активно применяют фильтры органопоглотители для качественного удаления органических веществ.

## Источники

1. Копылов, А. С. Водоподготовка в энергетике : учебное пособие для вузов / А. С. Копылов, В. М. Лавыгин, В. Ф. Очков - Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. - ISBN 978-5-383-00968-0. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009680.html> (дата обращения: 01.04.2023).

2. Кульский Л. А., Строкач П. П. Технология очистки природных вод. Киев, Вища школа. – 1986.

3. Гужулев Э. П. и др. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике //Изд-во ОмГТУ, Омск. – 2005.

УДК 66.081.63

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН И СПОСОБЫ ИХ РЕГЕНЕРАЦИИ

В.А. Сафонов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

afonov2000@mail.ru

В статье рассматривается загрязнение ультрафильтрационных мембран, а также пути и рекомендации по их восстановлению. Эксплуатация таких мембран осуществляется при помощи предварительно очищенной воды, что позволяет сократить число промывок и увеличить срок службы мембран.

**Ключевые слова:** мембраны, ультрафильтрация, микроорганизмы, очищенная вода, регенерация мембран, железобактерии.

## CONTAMINATION OF ULTRAFILTRATION MEMBRANES AND METHODS FOR THEIR REGENERATION

V.A. Safonov

KSPEU, Kazan, Russia

afonov2000@mail.ru

The article discusses the contamination of ultrafiltration membranes, as well as ways and recommendations for their recovery. The operation of such membranes is carried out using pretreated water, which reduces the number of flushes and increases the service life of the membranes.

**Keywords:** membranes, ultrafiltration, microorganisms, purified water, membrane regeneration, iron bacteria.

Между микрофильтрацией и нанофильтрацией располагается ультрафильтрация. Её поры различаются от 0,05 мкм до 10 нм. Ультрафильтрация применяется на станциях для дополнительной очистки воды от различных примесей, в том числе взвешенных и коллоидных веществ, бактерий и вирусов [3].

Ультрафильтрационная мембранная очистка имеет ряд преимуществ относительно других водоподготовительных установок, таких как:

- низкие показатели расхода электроэнергии (примерно в два раза)
- устойчивость мембран к повышенным температурам
- низкая стоимость данной установки
- автоматизированный процесс очистки
- хороший показатель обеззараживания (до 99 процентов) [1].

Как мы знаем, при использовании мембран в промышленности, происходит загрязнение их пор различными микроорганизмами в виде осадка. Загрязнение происходит в связи с тем, что поверхность ультрафильтрационных мембран очень развита и является благоприятной средой обитания большого количества микроорганизмов. Их отложения на поверхности мембраны и внутри пор можно сравнить с образованием слизистых отложений на стенках трубопроводов. В этом случае, железобактерии, которые образовались в водопроводной сети задерживаются на ультрафильтрационных мембранах, развиваются внутри пор и на их поверхности, таким образом уменьшая пропускаемость воды через мембраны. В результате этого наблюдается сокращение проходимости водной среды через мембраны, в следствии чего происходит рост трансмембранного давления (ТМД – является разностью давлений исходной воды и очищенной), но только в том случае, если производительность установки неизменна [1].

В публикациях, которые посвящены изучению мембранных процессов и биологическому загрязнению мембран выделяют три стадии осаждения различных примесей на поверхности мембран:

- изменение поверхности мембраны веществами, содержащимися в исходной воде;
- адгезия бактерий и образование биопленки;
- накопление биомассы. Эта стадия занимает самое большое количество времени. От объёма накопленной биомассы падает производительность мембранных аппаратов.

Для очистки загрязненных мембран используют понятие регенерация. Когда достигается критическая величина ТМД, мембраны деформируются. Для того чтобы не допустить этого прибегают к проведению регенерации мембран с использованием химических промывок, а также за счет обратных промывок под давлением.



Такие промывки производятся в определенные периоды времени в автоматизированном режиме. В таком случае специально подготовленная вода поступает в обратном направлении под действием насоса. В последствии мембраны очищают ежедневно с помощью химической промывки. Полученные стоки, которые образуются в процессе использования мембранной установки стекают в канализацию [2].

Проанализировав работу ультрафильтрационных мембран, можно сделать вывод о том, что основным источником засорения поверхности мембран являются жизненные процессы железобактерий. Для очистки от них рекомендуется использование определенных химических смесей, которые способны восстановить необходимый поток в водопроводной среде.

### **Источники**

1. Первов А.Г., Андрианов А.П., Телимченко Э.А. Влияние биологического загрязнения на работу обратноосмотических и ультрафильтрационных мембранных элементов Серия. Критические технологии. Мембраны, 2004, №1 (21). С.11-17

2. Андрианов А.П., Первов А.Г. Оптимизация процесса обработки воды методом ультрафильтрации. Водоснабжение и сан. техника, 2003, №6, стр.7-9.

3. Первов А.Г., Юрчевский Е.Б., Андрианов А.П., Совершенствование конструкций мембранных аппаратов. Водоснабжение и сан. техника, 2003, №6, стр.61-68.

УДК 621.311

## **СНИЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА КОМПРЕССОР ГТУ**

В.Л. Селиванов

Науч. рук. канд. тех. наук., доцент А.И. Муртазин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
selvad99@mail.ru

Эффективность работы газотурбинной установки напрямую связаны с погодными условиями. В статье рассмотрены методы охлаждения воздуха для компрессора газовой турбины, показаны преимущества и недостатки каждого из них. Рассмотрены конструкции и принципы работы каждого из способов.

**Ключевые слова:** газовая турбина, компрессор, повышение эффективности, испарение, абсорбционная холодильная машина.

# REDUCING THE INFLUENCE OF HIGH OUTDOOR AIR TEMPERATURES ON THE GTU COMPRESSOR

V.L. Selivanov  
KSPEU, Kazan, Russia  
selvad99@mail.ru

The efficiency of a gas turbine plant is directly related to weather conditions. The article discusses the methods of air cooling for a gas turbine compressor, shows the advantages and disadvantages of each of them. The designs and principles of operation of each of the methods are considered.

**Keywords:** gas turbine, compressor, efficiency improvement, evaporation, absorption chiller.

Из всех энергопроизводящих установок, газовые турбины наиболее чувствительны к условиям окружающей среды. Это вызвано тем, что работа, затрачиваемая на привод компрессора прямо пропорциональна расходу воздуха через него [1]. При нормальных условиях (Для ГТУ температура 15°C, давление 101,3 кПа, относительная влажность 60%) мощность турбины является номинальной, повышение температуры сверх – ведет к неизбежному уменьшению вырабатываемой мощности из-за уменьшения плотности всасываемого воздуха. Справиться с таким сезонным негативным эффектом помогает охлаждение воздуха, подаваемого на всас компрессора ГТУ [2]. На сегодняшний день разработаны и внедряются 3 системы охлаждения наружного воздуха [3]:

- Абсорбционные холодильные машины (АБХМ);
- Системы охлаждения с естественным испарением (СОЕИ);
- Системы охлаждения с принудительным испарением (СОПИ).

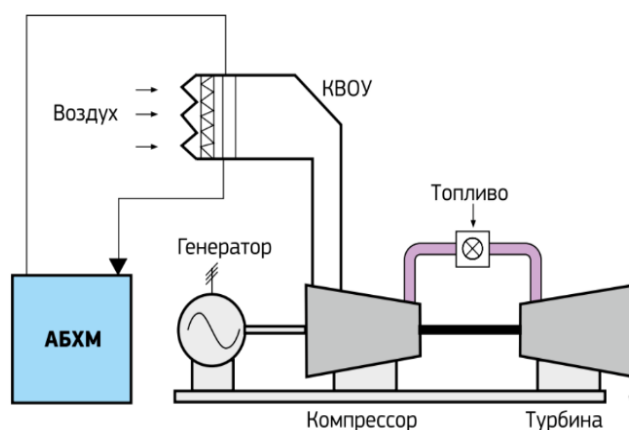


Рис. 1. Схема охлаждения воздуха с использованием АБХМ

Удобство АБХМ (Рис. 1) заключается в том, что для производства холода в них используется избыточная теплота, отбираемая из цикла газотурбинной установки (такой теплотой может служить низкопотенциальный пар горячая вода или уходящие газы) [4].

Принцип действия испарительные систем (СОПИ и СОЕИ) основан на принципе «охлаждение при испарении». Объем воды непрерывно подается в распределительный коллектор системы испарительного охлаждения из общего станционного коллектора.

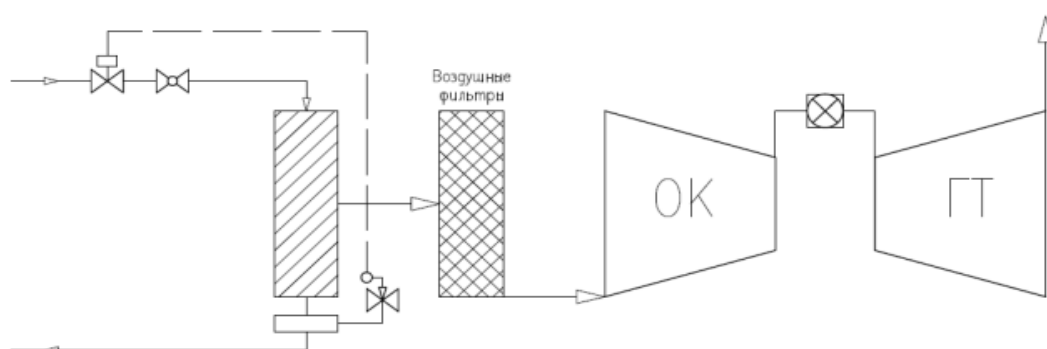


Рис. 2. Схема охлаждения воздуха с использованием СОЕИ

Вода под действием силы тяжести (при СОЕИ (Рис. 2)) или под давлением (при СОПИ) равномерно стекает по пористому материалу, установленному в сечении воздушного канала КВОУ ГТУ. Воздух, проходя через смоченный материал охлаждается и направляется на всас компрессора ГТУ. Часть воды, которая не испарилась, поступает в сливной поддон, откуда сливается в канализацию. Подача воды прекращается при снижении температуры воздуха ниже 12 °С. На осенне-зимний период материал демонтируется для снижения перепада давления на всасе КВОУ [5].

### Источники

1. ГОСТ Р 52200-2004 Установки газотурбинные. Нормальные условия и нормальные показатели.
2. Менделеев Д.И., Галицкий Ю.Я. Исследование влияния абсорбционной холодильной машины на режимы работы парогазовой установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 4. С 37-46.
3. Аминов Р.З., Новичков С.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АБСОРБЦИОННОЙ БРОМИСТО-ЛИТИЕВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ

ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОЗДУШНО-АККУМУЛИРУЮЩЕЙ ГАЗОТУРБИНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017;19(11-12):62-72.

4. Неумин В.М., Латыпов Г.Г., Крыкин И.Н. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГТУ ПУТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА В КОМПРЕССОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН. Надежность и безопасность энергетики. 2015;(3):61-67.

5. Мубаракوف И.И., Шигапов А.Б. Влияние отборов охлаждающего воздуха на эффективность газотурбинной установки. *Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ.* 2020;22(4):16-23.

УДК 536.2

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНДЕНСАЦИОННОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА

Н.В. Сергеев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.И. Муртазин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sw.tawer@yandex.ru

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности работы конденсационного экономайзера, как оборудования, которое улучшает энергоэффективность котлоагрегата и снижает выбросы вредных дымовых газов в окружающую среду.

**Ключевые слова:** конденсационный экономайзер, утилизация теплоты, повышение эффективности.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE CONDENSING ECONOMIZER

N.V. Sergeev

KSPEU, Kazan, Russia

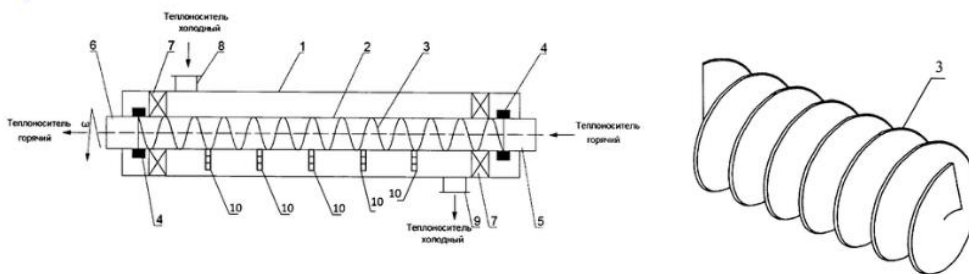
sw.tawer@yandex.ru

The article deals with the issues of improving the efficiency of the condensing economizer, as equipment that improves the energy efficiency of the boiler and reduces emissions of harmful flue gases into the environment.

**Keywords:** condensing economizer, heat recovery, efficiency increase.

В настоящее время актуальной проблемой является повышение энергоэффективности различного рода оборудования, а также вместе с этим и поддержание экологически-чистой окружающей среды. Поэтому для решения этих проблем был создан конденсационный экономайзер, который повышает эффективность работы основного котельного оборудования путем утилизации теплоты дымовых газов. Вместе с этим существуют также методы по улучшению работы самого конденсационного экономайзера.

1. Увеличение эффективности теплообмена (увеличение площади нагрева, коэффициента теплоотдачи и других характеристик, влияющих на процесс теплообмена между двумя теплоносителями через поверхность нагрева). Использование спиральной вращающейся ленты (см. рисунок) позволяет в конденсационном экономайзере увеличить коэффициент теплоотдачи на 40-80% в теоретическом расчете по сравнению с пустотелой трубой, где отсутствуют изогнутые вставки во внутритрубном пространстве [1]. Завихрения холодного теплоносителя в виде воды обеспечиваются за счет спиральной вставки, а перемещение дымовых газов обеспечивается за счет группы цепей с круглыми звеньями, шаг которых не меньше двух длин цепи. В результате происходит более интенсивная теплоотдача, а также возможно снижение металлоемкости теплообменника [2].



Общая схема теплообменника и спиральная вставка

Данный способ также уменьшает гидравлические потери в трубном пространстве и, это также повышает эффективность, в частности, как и использование ребристых трубок повышает теплоотдачи до 70%, а использование воздушных зазоров до 25% [3].

2. Оптимальное снижение температуры холодного теплоносителя. Эффективность конденсационного экономайзера зависит обратно от

температуры холодного теплоносителя, поскольку более низкая температура обеспечивает более высокий температурный перепад. Наиболее выгодным холодным теплоносителем является обратная сетевая вода, так как она имеет достаточно низкую температуру, около 25-40°C, для эффективного теплообмена в конденсационном экономайзере [4].

3. Использование наиболее коррозионностойких металлов с хорошей теплопроводностью, жаропрочностью. Для конденсационного экономайзера необходимо использовать материалы, которые являются стойкими к коррозии при работе на высоких параметрах [5]. Поэтому встает вопрос об использовании наиболее оптимального материала в соотношении цена-качество. В общем выбор материала зависит от конкретных условий работы оборудования: топливо, его состав, температура после котельного агрегата, давление дымовых газов, их расход, также давление водяного теплоносителя, его расход. Учитывая все эти характеристики, наиболее оптимальным является нержавеющая сталь с высокой коррозионной стойкостью (как самый важный фактор при выборе материала), жаропрочность данного металла является достаточной до 870°C и ее хватит при работе с котельным оборудованием [6].

4. Применение технологии вихревого потока. Использование данной технологии позволяет увеличить эффективность конденсационного экономайзера на 5-10%. Это происходит благодаря увеличению турбулентности потоков дымовых газов и увеличению времени контакта между газами и стенками теплообменных поверхностей, что способствует более эффективному теплоотводу от газов к воде. В результате уменьшается температура отходящих газов, что также может повысить экологическую безопасность производства энергии. Однако, слишком низкая температура газов после экономайзера снижает эффективность самой дымовой трубы, через которую удаляются газовые отходы, поскольку самотяга в дымовой трубе из формулы (1.52) и сама высота дымовой трубы зависят от разницы температур дымовых газов и наружного воздуха из формулы (1.1) с [7]. И необходимо устанавливать дополнительное дутьевое оборудование.

Таким образом, исследования на тему повышения эффективности конденсационного экономайзера показали, увеличение эффективности на 1-5% каждым способом. Стоит отметить, что для правильности и эффективности исследованных методов необходима тщательное проектирование на основе исходных данных, таких как, вид топлива, его состав, параметры теплоносителей до и после теплообмена.

### Источники

1. Divyesh Ubale. Heat Transfer Enhancement In Heat Exchanger using Twisted Tape Inserts: A Review. International Conference on Ideas, Impact and Innovation in Mechanical Engineering. 2021
2. Бальчугов А.В., Кустов Б.О., Бадеников А.В. Теплообменник типа "труба в трубе" с вращающейся спиральной лентой. Патент №RU2705711C1; опубл. 11.11.2019.
3. O.A. Hamdan, M.A. Naser, A.S. Allawe. Numerical investigation of thermal and hydraulic development for a double pipe heat exchanger. International Conference on Robotics, Automation and Intelligent Systems. 2021.
4. Савенко А.В. Эффективность конденсационного экономайзера в паровых котельных. Энергетика и автоматизация в современном обществе: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург, 2021. Ч. 1. С. 37-41.
5. Ю. П. Перелыгин, И. С. Лось, С. Ю. Киреев. Коррозия и защита металлов от коррозии. Учебное пособие. Пенза: издательство ПГУ, 2015. С.18.
6. Жаропрочная сталь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://met-all.org/stal/zharoprochnaya-zharostojkaya-stal-splavy-marki.html> (дата обращения 27.02.2023).
7. А.М. Грибков. Выбор оптимальных размеров дымовых труб и внешних газоходов. Учебное пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. С. 12-24.

УДК 621.311

## ПРИНЦИП РАБОТЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ. ТИПЫ УСТАНОВОК

Д.И. Смирнова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.И. Ляпин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

smirnovad122@gmail.com

В статье рассмотрен состав ветрогенератора, принцип его работы, типы ветряных турбин с горизонтальными и вертикальными осями.

**Ключевые слова:** ветроэнергетика, энергия ветра, генератор, ротор, турбина.

# THE PRINCIPLE OF OPERATION OF WIND TURBINES. TYPES OF INSTALLATIONS

D.I. Smirnova

KSPEU, Kazan, Russia

smirnovad122@gmail.com

The article considers the composition of the wind generator, the principle of its operation, types of wind turbines with horizontal and vertical axes.

**Keywords:** wind power, wind energy, generator, rotor, turbine.

Ветрогенератор – устройство, которое преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую. Энергия является чистой альтернативой ископаемым видам топлива без выбросов вредоносных газов в атмосферу [1]. Ветряк состоит из ротора, турбины, турбинных лопастей, электрического генератора, инвертора. Ротор - вращающаяся часть, преобразующая энергию ветра в энергию вращения. Форма и количество лопастей пропеллера зависят от устройства турбины. Генератор представляет собой трехфазный синхронный двигатель, выходная мощность которого подается в электрическую сеть или хранится в батареях. Башня установки обеспечивает стабильную платформу для турбины и поднимает ее над землей, чтобы улавливать более высокие скорости ветра.

Ветряки работают по принципу аэродинамики [2]. При попадании ветра на лопасти, создается разница в давлении воздуха с обеих сторон. Данная сила заставляет вращаться вал и приводит в действие генератор, за счет чего вырабатывается электроэнергия. Количество произведенной энергии зависит от размера ротора и скорости ветра. Полученный переменный ток попадает в контроллер, где преобразуется в постоянное напряжение, далее поступает на инвертор и трансформируется в переменное с показанием 220/380 В. Готовое напряжение поступает к потребителям [3].

Чтобы увеличить выработку энергии, ветряные турбины устанавливаются в районах с высокой скоростью ветра. К примеру, высокогорные и прибрежные районы. Ветрогенератор способен автоматически адаптироваться к изменению скорости ветра для оптимизации производства энергии. Существует два основных типа ветряных турбин: с горизонтальной и вертикальной осями.

Вертикальный генератор (карусельный тип) – применяется для



повседневной жизни, прост в обслуживании.

1.Ротор Савоуниса – представляет собой два цилиндра. Поток ветра не зависит от постоянного осевого вращения. Использует силу стихии только на треть всей мощности.

2.Ротор Дарье – изготавливается из двух или трех лопастей. Легок в монтаже, начинает работать от ручного запуска. Минусы заключаются в слабой мощности, высоком шуме, не автоматическом запуске.

3.Геликоидный ротор – равномерное вращение происходит при помощи закрученных лопастей. Подшипники продлевают срок эксплуатации. Недостатком является высокая стоимость из-за сложной технологии производства.

4.Многолопастной ротор – высокая эффективность создается благодаря большому количеству турбинных лопастей, что делает его чувствительным к любому ветру. При максимальном использовании энергии ветра, создает много шума.

5.Ортогональный ротор –вертикальный пропеллер. Возможно использование при слабом ветре, обслуживание системы на земле, не производит много шума. Сила ветра используется не полностью из-за низкой вращательной скорости.

Горизонтальный генератор (крыльчатый) – имеет от одной до трех и более лопастей. Тип парусника – преобразование физической энергии в электрическую за счет тарелкообразной конструкции. Напор воздуха попадает в тарелку и приводит в действия поршни, которые активируют гидросистему и вырабатывают электричество [4].

Ветряные турбины представляют чистый и возобновляемый источник энергии. Однако они имеют последствия для окружающей среды, связанные с изменением климата, гибелью птиц и летучих мышей, шумовому загрязнению. При правильном проектировании, энергию ветра можно обеспечить устойчивым источником электроэнергии [5].

### **Источники**

1.Ветроэнергетика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://manufacturers.ru/article/vetroenergetika> (дата обращения: 04.03.23).

2.Обзор основных типов ветрогенераторов и перспективы развития ветроэнергетики в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/124/34127/> (дата обращения: 04.03.23).

3.Кинетический ветрогенератор: устройство, принцип работы, применение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/generators/kineticheskij-vetrogenerator.html> (дата

обращения: 04.03.23).

4. Основные виды ветрогенераторов: вертикальные, горизонтальные [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tcip.ru/blog/wind/osnovnye-vidy-vetrogeneratorov-vertikalnye-gorizontálne.html> (дата обращения: 04.03.23).

5. Хавидолда, Х. Типы и основа работы ветрогенераторов / Х. Хавидолда // . – 2019. – № 11. – С. 263-266. – EDN UVHTEG.

УДК 628.16

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

К.С. Сорокин

Науч. рук. кандидат технических наук, доцент, А.Ю. Власова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[Kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru](mailto:Kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru)

В данной статье рассмотрены разнотипные методы водоподготовки, проанализированы отличия в сферах применения очищенной воды и влияние отчистки на функционирование энергетического оборудования.

**Ключевые слова:** Водоподготовка, водоочистка, обратный осмос, степень очистки, фильтры, загрязнения.

## **ANALYSIS OF WATER TREATMENT METHODS FOR POWER EQUIPMENT**

K.S. Sorokin

Scientific advisor, A.Y. Vlasova

KSPEU, Kazan, Russia

[Kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru](mailto:Kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru)

This article discusses various methods of water treatment, analyzes the differences in the areas of application of purified water and the impact of cleaning on the functioning of power equipment.

**Keywords:** Water treatment, water treatment, reverse osmosis, degree of purification, filters, pollution.

Водоочистка и водоподготовка неотъемлемые части современного быта и производства. В условиях бурно развивающейся промышленности требования к степени чистоты воды становятся все жестче. Если

сравнивать требования для бытовых нужд и для производственных, то обнаружится колоссальные отличия. Для организма человека, животных и растений содержащиеся в воде растворенные минералы и соли жизненно необходимы, а для промышленности, в частности энергетики, очень губительны [1].

Для тепловых электрических станций требования к качеству воды, а именно по общей минерализации установлены на уровне не более 10 мкг/л. При таком солесодержании удается достичь повышения КПД, за счет снижения отложений на поверхностях нагрева и продления срока службы энергомашин, в результате снижения коррозии.

Самым простым и начальным этапом очистки воды является предварительная очистка, которая включает стадию осветления и фильтрования воды. Этот метод позволяет избавиться от крупных нерастворимых примесей, взвесей и эмульсий за счет использования химических реагентов (коагулянтов и флокулянтов). Данный процесс актуален как для подготовки воды для промышленных целей, так и для хозяйственно-бытовых нужд.

Процессы обессоливания базируются на следующих методах: умягчение, ионный обмен, обратный осмос.

Умягчение воды – процесс удаления солей жесткости путем ионообменных фильтров, в которых ионы кальция и магния заменяются на другие, например, ионы натрия [2].

Обратный осмос. Установки обратного осмоса применяются в случае повышенного солесодержания в воде. Очистка воды происходит путем пропускания воды под давлением через специальную мембрану [3].

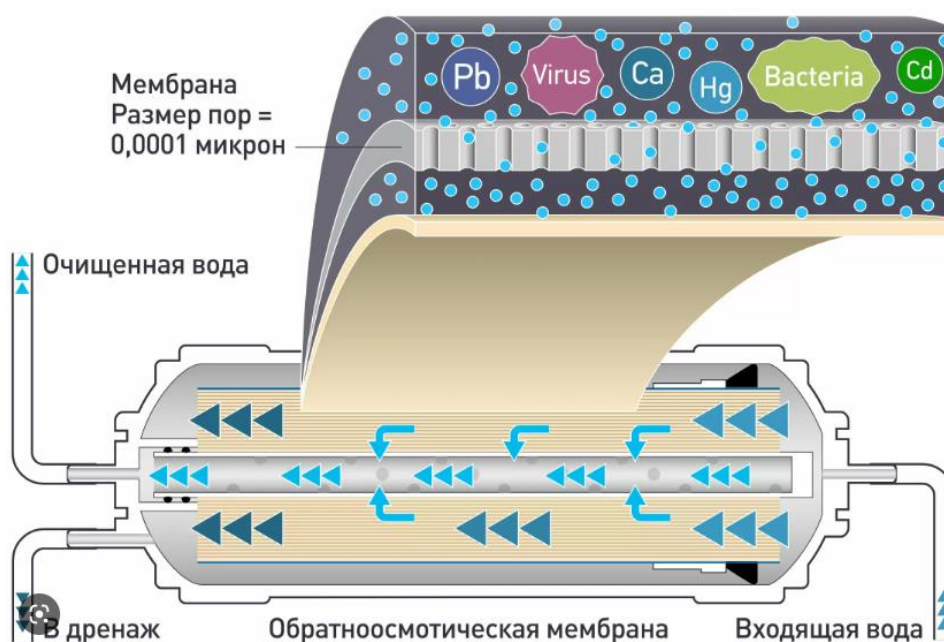


Рис.1 Схема работы обратноосмотического фильтра

Обычный процесс осмоса представляет собой движение молекул воды через мембрану установленную между сосудами с соленой водой и пресной, от менее к более соленой, для уравнивания концентраций. Процесс обратного осмоса использует противоположное направление движения молекул за счет создания дополнительного повышенного давления в сосуде с соленой водой.

Обеззараживание воды. Присутствие различных микроорганизмов и бактерий может негативно сказаться на состоянии металлов, вступать с ними в различные реакции, создавать отложения. Все это позволяет избежать хлорирование или иногда применяют ультразвук или ультрафиолет.

Все рассмотренные методы позволяют довести воду любого качества до нужной кондиции для использования в промышленном цикле электростанции. От чистоты воды напрямую зависит срок службы оборудования, стабильность работы и высокий КПД.

### **Источники**

1. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 378 с.

2. Уразаев В.Г. Обзор методов очистки воды // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 2.

3. Слесаренко В. В. Совершенствование систем водоподготовки для теплоэнергетических установок с применением мембранных технологий: на примере Дальневосточного региона: автореф. дис. ... д...ра техн. наук: 05.14.14 / С.-Петерб. политехн. ун-т. – Владивосток, 2006. – 44 с.

УДК 621.548

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

Э.Р. Тагиров

Науч. рук., ассистент, О.Е. Бабиков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань

zainer13062003@gmail.com

В работе представлены методы увеличения эффективности ГТУ, дающие возможность улучшения нынешних установок путем приближения производственного цикла к циклу Карно. Оптимальным вариантом является цикл, включающий в себя трехступенчатое сжатие и двухступенчатое сгорание с регенерацией.

**Ключевые слова:** Газотурбинная установка, эффективность, сжатие, регенерация.

# INCREASING THE EFFICIENCY OF A GAS TURBINE POWER PLANT

E.R. Tagirov

KSPEU, Kazan, Russia

zainer13062003@gmail.com

The paper presents methods for increasing the efficiency of gas turbines, which make it possible to improve current installations by bringing the production cycle closer to the Carnot cycle. The best option is a cycle that includes three-stage compression and two-stage combustion with regeneration.

**Keywords:** Gas turbine power plant, efficiency, compression, regeneration.

Использование газотурбинных установок (ГТУ) является одним из способов выработки энергии. ГТУ имеют множество технологических преимуществ перед другими энергетическими установками и связано это с тем, что они имеют малые габариты, приемлемую цену, просты в обслуживании, маневренны и могут быстро вводиться в эксплуатацию. На многих ТЭЦ в России эксплуатируются газотурбинные установки в монорежиме, либо в составе парогазовых установок. Вопрос модернизации существующих ГТУ является актуальной задачей для производителей газовых турбин. Целью является вывести эффективность ГТУ на уровень с ПГУ, чтобы сэкономить средства при модернизации ТЭЦ. Задачей является повышение КПД с сохранением конструкционных отличительных особенностей. Произвести модернизацию ГТУ возможно следующими способами, которые далее приведены в статье.

1) Регенерация тепла в ГТУ заключается в подогреве воздуха, поступающего из компрессора в камеру сгорания, отработавшими газами турбины. Степень регенерации – это коэффициент, показывающий во сколько раз тепло, переданное воздуху, отличается от тепла, которое можно было передать газу, вышедшего из компрессора. Именно при увеличении степени регенерации КПД всего цикла возрастает. Применение регенератора не влияет на работу термодинамического процесса. Регенерация теплоты приводит к увеличению веса и габаритов ГТУ из-за наличия регенератора (теплообменника), поэтому такие ГТУ являются в основном стационарными и реже транспортными [1].

2) Многоступенчатое сжатие воздуха с промежуточным охлаждением. Основная идея – уменьшить затраты работы на сжатие воздуха и увеличить получаемую работу расширяющегося газа в турбине.

Максимальный КПД может быть получен, если совместно с регенерацией теплоты производить сжатие воздуха не по адиабате, а по изотерме. Данная модернизация также увеличивает габаритные размеры установки и повышает КПД путем расширения воздуха в момент сгорания топлива создавая дополнительное давление на лопатки турбины [2].

3) Многоступенчатое сгорание топлива. Рассмотрим трехступенчатое сжигание. Суть трехступенчатого сжигания состоит в том, что по высоте топочной камеры организуют три зоны. В первой (нижней) зоне топки сжигается основное количество топлива (70-85%) при избытке воздуха близком к единице. На выход из зоны активного горения подается оставшая часть топлива (15-30%) и соответствующее количество воздуха с таким расчетом, что бы суммарный избыток воздуха в ней составлял 0,39-0,95. Благодаря такой конструкции концентрация окислов азота не превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) в уходящих газах [3].

Схема ГТУ с внедренными изменениями представлена на рис.1. В трехступенчатом компрессоре с двумя промежуточными охладителями происходит сжатие воздуха, который затем направляется в регенератор, где с помощью газов, выходящих из второй ступени газовой турбины, подогревается до определенной температуры. Нагретый воздух поступает в камеру сгорания первой ступени. Сюда же поступает и топливо, которое сгорает после перемешивания с воздухом.

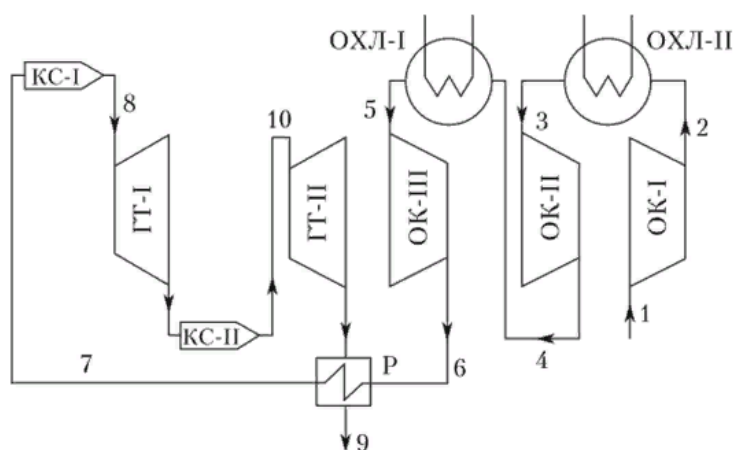


Рис.1. Схема модернизированной ГТУ

Горячий газ направляется на лопатки первой ступени турбины. Затем он поступает во вторую ступень камеры сгорания, в которой за счет сжигания дополнительной порции топлива его температура повышается. Полученный горячий газ после совершения работы на лопатках второй

ступени турбины направляется в регенератор.

Внедрение данных методов позволяет значительно модернизировать ГТУ и повысить их КПД до конкурентных значений. Чем больше число ступеней сжатия и охлаждения, тем выше термический КПД цикла, это представлено на рис. 2.

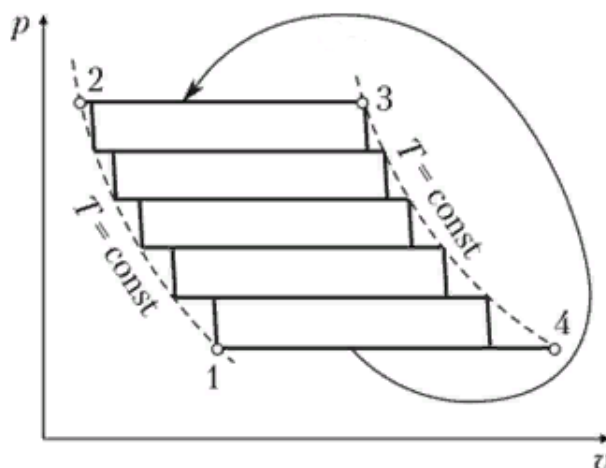


Рис.2. Зависимость ступеней сжатия на КПД ГТУ

### Источники

1. Диденко В.Н. Техническая механика /Циклы ГТУ и ДВС/ Газотурбинные установки двигателя внутреннего сгорания С.6, 2009.
2. Малыгина М.В. Численное исследование многотопливного горелочного модуля камеры сгорания ГТУ. С.143-145, 2011.
3. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / А. И. Абрамов, Д. П. Елизаров, А. Н. Ремезов и др.; под ред. А. С. Седлова. - М.: Изд-во МЭИ, С. 378, 2001.

УДК 621.499.3

## ЯДЕРНЫЕ РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ: ПРЕИМУЩЕСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.В. Титенков

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» А.И. Минибаев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
vyacheslavT90@yandex.ru

В статье рассматриваются основные преимущества и недостатки двигателей на ядерной тяге. Рассмотрены перспективы их развития и использования.

**Ключевые слова:** ядерная тяга, преимущества, недостатки, перспективы.

# NUCLEAR ROCKET ENGINES: ADVANTAGES, DISADVANTAGES AND PROSPECTS

V.V. Titenkov  
KSPEU, Kazan, Russia  
vyacheslavT90@yandex.ru

The article discusses the main advantages and disadvantages of nuclear-powered engines. The prospects of their development and use are considered.

**Keywords:** nuclear propulsion, advantages, disadvantages, prospects.

В условиях современности как никогда важно развивать технологии, которые в дальнейшем поспособствуют освоению космического пространства. С развитием ядерных технологий ракетные двигатели старого типа уходят назад и на замену им приходят двигатели на ядерной тяге, которые легче и мощнее своих предшественников.

Ядерный ракетный двигатель (ЯРД) – реактивный двигатель, в котором энергия, возникающая при ядерной реакции распада или синтеза, нагревает рабочее тело (чаще всего, водород или аммиак). Ядерные двигатели используются исключительно в космосе, а не в атмосфере Земли [1, 2].

Существует несколько типов ЯРД, включая ядерно-термические, ядерно-реактивные и ионные двигатели. Ядерно-термический двигатель работает по принципу термоядерного реактора. В нем происходит ядерный распад, при котором высвобождается тепловая энергия. Тепло ионизирует газы (обычно водород), которые выходят из сопла и создают тягу.

Ядерно-реактивный двигатель использует процесс деления ядер, чтобы получить тягу. Он очень похож на ядерный реактор, но с одним отличием – топливо здесь расщепляется быстрее, что создает большую тягу.

Ионный двигатель – это уже не ЯРД, но упомяну его, т.к. использует энергию, созданную ядерным источником. В нем ионы разгоняются под действием электрического поля и выходят из двигателя с высокой скоростью, создавая тягу.

Основными преимуществами ЯРД являются:

Высокая тяга – Ядерные ракетные двигатели могут обеспечить высокую тягу при малом расходе топлива;

Компактность двигательной установки;

Длительность работы. Ядерные ракетные двигатели способны



работать в течение длительного времени без необходимости заправки;

Возможность использования в космосе. Ядерные ракетные двигатели могут быть использованы для отправки космических кораблей в дальние путешествия, такие как полеты на Марс или даже межзвездные полеты;

Многоразовый – при дозаправке в космосе ЯРД имеют потенциал для широкого повторного использования, выполняя многократные запуски и остановки с запасом;

Многоцелевые – ЯРД также могут использоваться для энергоемких применений, таких как криоохладители, системы жизнеобеспечения, электрическая тяга.

Основным недостатком является высокая радиационная опасность двигательной установки [3]:

Потоки проникающей радиации (гамма-излучение, нейтроны) при ядерных реакциях;

Вынос высокорadioактивных соединений урана и его сплавов;

Истечение радиоактивных газов с рабочим телом;

Высокие затраты на разработку и производство ЯРД;

Потенциальная опасность. Ядерные ракетные двигатели используют ядерную энергию, которая может стать причиной серьезных аварий, если что-то пойдет не так;

Сложность в использовании. Из-за сложности ядерной технологии, если что-то идет не так, обслуживающий персонал может столкнуться с большими трудностями в устранении проблемы;

Ярким разработчиком ЯРД является зарубежная коммерческая компания Ultra Safe Nuclear. Ultra Safe Nuclear first впервые представила новую парадигму для ядерных ракетных сердечников с низким содержанием обогащенного урана в 2015 году. С тех пор USNC-Tech разработала топливо, замедлители и конструкции активной зоны для создания первых демонстрационных систем NTR для программ NASA и DARPA NTR.

Таким образом ядерные ракетные двигатели имеют большие перспективы развития, так как путешествие на другие планеты долгое и опасное, наполненное космической и солнечной радиацией. Чтобы защитить астронавтов от высокой дозы космической радиации, время в пути должно быть значительно сокращено. ЯДР смогут выполнять полеты с экипажем значительно быстрее, чем химическая тяга. Однако, для использования ядерных ракетных двигателей в будущем, необходимо проводить более глубокое исследование, чтобы решить проблемы, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации.

### **Источники**

1. Ядерные ракетные двигатели [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usnc.com/ntp/> (дата обращения: 03.03.2023).

2. Ядерные ракетные двигатели и ядерные ракетные электродвигательные установки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/416843/> (дата обращения: 03.03.2023).

3. Преимущества и недостатки ядерных двигателей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.enersy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki-yadernyh-dvigatelay.html> (дата обращения: 03.03.2023).

УДК 621.039.5

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОМОДУЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ В ДАЛЬНИХ РЕГИОНАХ СТРАНЫ**

В.В. Титенков

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» А.И. Минибаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

vyacheslavT90@yandex.ru

В статье рассматриваются основные преимущества использования микромодульных реакторов в дальних регионах страны. Рассмотрены направления их применения в данных условиях. Представлены различные виды реакторов и основные свойства (надежность, безопасность, мощность и т.д.).

**Ключевые слова:** микромодульные реакторы, АЭС.

## **THE USE OF MICROMODULAR REACTORS IN REMOTE REGIONS OF THE COUNTRY**

V.V. Titenkov

KSPEU, Kazan, Russia

vyacheslavT90@yandex.ru

The article discusses the main advantages of using micromodule reactors in remote regions of the country. The directions of their application in these conditions are considered. Various types of reactors and basic properties (reliability, safety, power, etc.) are presented.

**Keywords:** micromodular reactors, AES.

Энергетическая система микромодульный реактор (ММР) – это ядерная энергетическая система 4-го поколения, которая обеспечивает безопасную, чистую и экономичную электроэнергию пользователям в любом месте [1-2].

Развитие использования микромодульных реакторов имеет большой потенциал. Данные реакторы имеют небольшую мощность примерно 3-10 МВт. Данной мощности хватит что бы обеспечить небольшой город с населением до 100 тыс. людей, научную станцию или, например, золотодобывающую установку в тех регионах страны, где построить обычную АЭС крайне невыгодно из-за большей цены и большего количества выделяемой мощности. Подобно батареям, несколько блоков ММР могут быть соединены вместе, чтобы обеспечить столько энергии, сколько необходимо, в том числе авианосцах, подводных лодках, транспортных морских судах для гражданских целей.

ММР может быть размещен практически в любом месте, где людям нужна энергия. В дальних регионах нашей страны, где нет доступа к централизованному газу и электроэнергии, такие реакторы могут стать отличным решением для обеспечения энергетической безопасности и снижения затрат на доставку топлива. Энергетическая система ММР не использует воду и не нуждается в электрической сети или инфраструктурной поддержке. ММР совместим с самыми суровыми климатическими условиями: от арктического до пустынного и тропического. Помимо этого, ММР можно использовать в космической отрасли, на морских надводных и подводных судах.

Многие страны занимаются разработкой и реализацией более совершенных ММР. К таким странам относятся Россия, Соединенные Штаты Америки и Канада [3-5].

Тем не менее, существует множество проектов, в том числе и нашей стране, направленных на использование ММР для обеспечения энергетической безопасности дальних регионов. В частности, компания Росатом активно развивает технологии микромодульных реакторов и планирует внедрить их в ряде проектов, включая обеспечение энергией удаленных поселений и объектов промышленности.

В России в рамках программы развития малых модульных АЭС планируется реализовать два ММР – «Шельф-М» и «Елена АМ». «Шельф-М» модернизации НИКИЭТ – это водо-водяной энергоблок с водой под давлением с компоновкой интегрального типа, его тепловая мощность достигает 30 МВт, а электрическая мощность – 10 МВт, при этом он может добавочно выдавать 12 Гкал/ч тепла, которое может использоваться для

отопления небольших близлежащих городов с населением до 100 тыс. человек, и опреснять воду до 500 м<sup>3</sup>/ч.

РФ на сегодняшний день имеет достаточно неплохие позиции на рынке SMR – есть много разработок и проектов, есть уже реализованная плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС), есть серийное производство SMR с РИТМ-200, предназначенных для использования как на суше, так и на морском транспорте. Однако текущее изменение международной обстановки и санкционное давление может сильно сократить экспортный потенциал российских разработок. Несмотря на это, Россия по-прежнему является одной из немногих стран, занимающейся малой модульной энергетикой. Целью российских разработок в этой области является снабжение электроэнергией и теплом ее северных регионов. На данный момент для осуществления этой цели уже построена и пущена в эксплуатацию ПАТЭС «Академик Ломоносов» в городе Певек, что является первым шагом к осуществлению столь непростой и при этом важной цели. Сейчас станция работает исправно и, если она хорошо себя покажет в условиях севера, то дальнейшее производство таких АЭС не заставит себя долго ждать.

Для текущей мировой атомной промышленности в целом ММР могут быть крайне перспективны. Большое число самых разнообразных проектов в этой области позволяет надеяться, что многие из них в ближайшем будущем будут реализованы. И это не даст толчок развитию ядерных технологий в целом, но и позволит привлечь в отрасль огромное число молодых специалистов, которые смогут реализовать свои идеи.

### **Источники**

1. Горчаков Д. Малые АЭС и зачем они нужны [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/timeweb/blog/674834/> (дата обращения: 08.01.2023).

2. Джанлука Риччио. Проект Пеле. Первый переносной ядерный микрореактор в 2024 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.futuroprossimo.it/2022/06/bwxt-costruira-il-primo-micro-reattore-nucleare-portatile/> (дата обращения: 05.01.2023).

3. Ultra Safe Nuclear Micro module reactor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usnc.com/mmr/> (дата обращения: 04.01.2023).

4. Ultra Safe Nuclear Overview Water Cooled Reactors Team [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://indico.ictp.it/event/8725/session/1/contribution/2/material/slides/0.pdf> (дата обращения: 07.01.2023).

5. Ultra Safe Nuclear SMR\_Book\_2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_Book\\_2020.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf) (дата обращения: 04.01.2023).

УДК 621.039.67

## ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ КАК ИСТОЧНИК ЧИСТОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ЭНЕРГИИ

В.А. Лавриков<sup>1</sup>, В.В. Титенков<sup>2</sup>

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» Минибаев А.И.

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>vasiliylavricov@mail.ru, <sup>2</sup>VyacheslavT90@yandex.ru

В статье рассматриваются основные преимущества термоядерных реакторов по сравнению с другими источниками энергии. Представлены основные направления развития термоядерных реакторов.

**Ключевые слова:** термоядерный реактор, безопасность, термоядерная энергия, термоядерная реакция.

## THERMONUCLEAR REACTORS AS A SOURCE OF CLEAN AND SAFE ENERGY

V.A. Lavricov<sup>1</sup>, V.V. Titenkov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>vasiliylavricov@mail.ru, <sup>2</sup>VyacheslavT90@yandex.ru

The article discusses the main advantages of thermonuclear reactors in comparison with other energy sources. The main directions of development of thermonuclear reactors are presented.

**Keywords:** thermonuclear reactor, safety, thermonuclear energy, thermonuclear reaction.

Термоядерный реактор представляет из себя особый тип ядерного реактора, который использует принципы термоядерной реакции для генерации энергии. В таком реакторе происходит слияние легких ядер (обычно дейтерия и трития) в единое тяжелое ядро [1]. При этом высвобождается огромное количество энергии в виде тепла и света.

Перспективы термоядерных реакторов крайне привлекательны, поскольку эти реакторы могут предоставлять чистую и безопасную энергию, используя источники топлива, находящиеся в изобилии в

природе [1].

Ключевым достоинством таких реакторов является отсутствие ядерных отходов и радиоактивных веществ при генерации энергии. Единственными «побочными» продуктами термоядерного синтеза являются гелий, который является безвредным инертным газом, и тритий, который можно использовать в качестве дополнительного топлива для термоядерного реактора [2]. Именно благодаря этому риск радиоактивного загрязнения окружающей среды значительно снижен. Это делает энергию, получаемую путем термоядерных реакций, достаточно безопасной для человека и окружающей среды.

Следующим преимуществом термоядерных реакторов является доступность его топлива. Два главных компонента, необходимых для осуществления термоядерной реакции это дейтерий и тритий. Первый является достаточно недорогим и доступным веществом, к тому же получить его можно из обычной воды; тритий же может быть получен либо из обычного водорода, либо путем извлечения из лития, также он может быть выделен из отработанного ядерного топлива легководных реакторов [3].

Еще одним важным качеством термоядерных реакторов является эффективность использования топлива [3]. Данный тип реакторов способен использовать до 95% материала в качестве топлива, при этом потребление топлива происходит медленно, что позволяет максимально эффективно использовать топливный потенциал для генерации энергии.

Помимо этого, термоядерные реакторы способны вырабатывать огромное количество энергии, по сравнению с другими ее источниками, такими как атомные электростанции, гидроэлектростанции и теплоэлектростанции. Причина в том, что энергия, получаемая путем термоядерного синтеза, в 4 раза больше энергии, выделяющейся при делении ядер [4].

Тем не менее, создание и эксплуатация термоядерных реакторов являются весьма сложным процессом, которые связаны со множеством проблем, связанных в первую очередь с колоссальными температурами, до которых нагревается газ, достигая состояния плазмы. Эта температура составляет десятки миллионов градусов по Цельсию, и выдержать ее на постоянной основе длительное время не способен не один из известных человечеству материалов. Именно поэтому на данный момент термоядерная реакция может поддерживаться не более 90-100 секунд, после чего срабатывают аварийные системы защиты и термоядерный синтез прекращается [4].

Таким образом, не смотря на огромные перспективы и достоинства использования термоядерной энергии, на данный момент человечество не

способно создать полноценный рабочий термоядерный реактор, из-за многих сложностей, связанный с особенностями термоядерного синтеза, однако развитие термоядерных технологий способно решить множество проблем, связанных с энергоснабжением всего человечества, и потому нам остается надеяться, в рано или поздно эти технологии будут освоены.

### Источники

1. Что такое термоядерный синтез и почему его так сложно запустить? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru/energiya-termoyadernogo-sinteza/chto-takoe-termoyadernyy-sintez-i-pochemu-ego-tak-slozhno-zapustit> (дата обращения 05.03.2023).

2. Как извлечь колоссальную энергию из термоядерной реакции и зачем строят ИТЭР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://postnauka.ru/longreads/156011> (дата обращения 05.03.2023).

3. Устройство для получения энергии за счет термоядерного синтеза. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://polytech.bm.digital/ontology/308171512181972992/termoyadernyyj-reaktor> (дата обращения 05.03.2023).

4. Солнце в машине: как ученые сделали еще один шаг к созданию термоядерной энергетики и почему это может изменить мир [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/obshchestvo/429889-solnce-v-machine-kak-uchenye-sdelali-eshche-odin-shag-k-upravlyayemoj> (дата обращения 05.03.2023).

УДК 621.311.243

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КПД СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

С.Е. Титов

Науч. рук. О.Е. Бабилов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

semen\_titov\_2003@mail.ru

В настоящий момент солнечная энергетика продолжает развиваться и с каждым годом исследователи и ученые во всем мире находят новые способы повышения эффективности работы солнечных панелей. В работе представлено решение проблемы низкой эффективности солнечных панелей за счёт использования нанокompозитных материалов.

**Ключевые слова:** солнечные панели, нанокompозитные материалы, солнечная энергетика, эффективность.

# APPLICATION OF NANOCOMPOSITE MATERIALS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS

S.E. Titov

KSPEU, Kazan, Russia

semen\_titov\_2003@mail.ru

At the moment, solar energy continues to develop and every year researchers and scientists around the world find new ways to improve the efficiency of solar panels. The paper presents a solution to the problem of low efficiency of solar panels through the use of nanocomposite materials.

**Keywords:** solar panels, nanocomposite materials, solar energy, efficiency.

Применение возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, становится всё популярнее. Один из способов применения солнечной энергии для выработки электроэнергии основывается на использовании солнечных панелей, коэффициент полезного действия (КПД) которых составляет около 22%. Рассмотрим проблемы, возникающие при эксплуатации систем солнечной энергетики и применяемые по решению этих проблем разработки, связанные с нанотехнологиями.

Солнечные панели имеют относительно низкий КПД, что связано с некоторыми факторами. С помощью нанотехнологий можно повысить эффективность работы кремниевых солнечных панелей. Существует особый способ легирования [1], позволяющий создать условия формирования наноразмерных кластеров марганца в решётке кремния. Способ основывается на диффузии, при которой температуру плавно увеличивают до необходимой, поле чего выдерживают при этой температуре. Таким образом, кремний не разрушается, исключается эрозия поверхности кристалла и обеспечивается максимальное участие атомов марганца в кластерообразовании. Этот метод также позволяет использовать ИК-спектр солнечного излучения для выработки энергии в солнечной панели. Проведенные расчеты показывают [2], что данная разработка повышает КПД солнечных батарей вплоть до 40%.

Другой причиной низкого КПД является нагревание батареи под действием солнечных лучей. В работе [3] предпринята попытка повысить эффективность панели путем надлежащего регулирования поглощаемой ими тепловой энергии с использованием нанокompозитного материала с фазовым переходом (NCPM). Данный материал был получен путем



растворения диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) совместно с парафином. В ходе эксперимента были использованы две фотоэлектрические панели аналогичной мощности (30 Вт) и конфигурации. Первая панель, без каких-либо изменений, была названа SPV 1, а вторая панель была названа SPV 2, которая была интегрирована с NCPCM для регулирования тепловой энергии. Обе фотоэлектрические панели были исследованы в ясные солнечные дни с 7.00 утра до 17.00 вечера.

Как SPV1, так и SPV2 имеют одинаковую физическую структуру, за исключением внедрения во вторую панель нанокompозитного материала NCPCM. Каждая ячейка солнечных панелей состояла из полупроводникового фотоэлемента, покрытого тонким слоем этилвинилацетата (EVA) с обеих сторон. На нижней части находится опорная пластина, за которой следует алюминиевая рама.

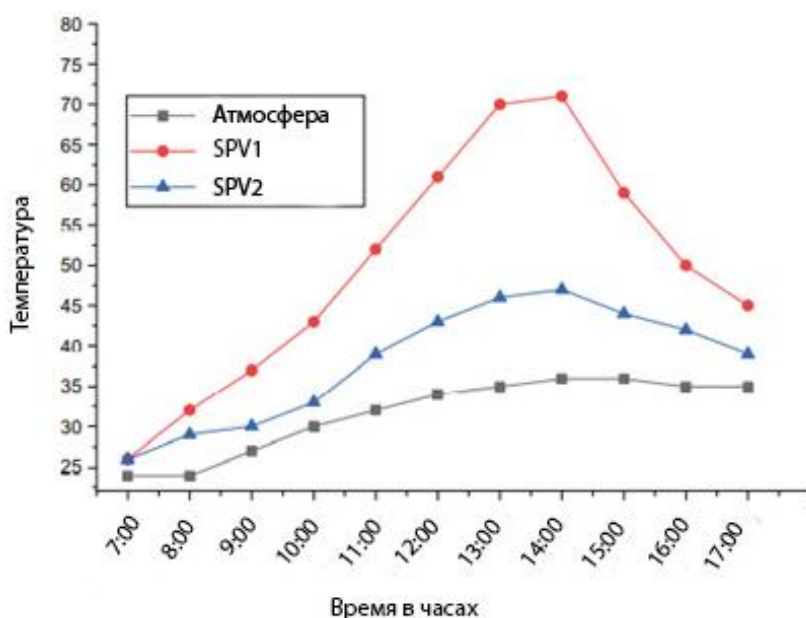


Рис. 1. Изменения температуры атмосферы и поверхности панелей SPV1 и SPV2

На рисунке показаны изменения температуры поверхности панелей SPV и температуры атмосферы в разные часы в течение дня. Температура панелей повысилась и достигла максимального значения между 13:00 и 14:00. Температура поверхности SPV1 (без NCPCM) увеличилась до 71 °C к 14:00, что на 24 °C выше, чем у SPV2 (с NCPCM). Можно отметить, что интеграция наноматериала NCPCM существенно снизила температуру поверхности панели за счет поглощения большого количества тепловой энергии.

Таким образом, внедрение нанокompозитных материалов в структуру солнечных панелей является эффективным методом повышения их КПД.

Развитие науки в области наноматериалов позволит усовершенствовать технологии производства солнечных панелей.

### **Источники**

1. Изготовление энергоэффективных солнечных батарей / А. Д. Бухтеев, В. Б. Бальжиева, А. Р. Тарасова [и др.] // Высокие технологии и инновации в науке: сборник избранных статей Международной научной конференции. Санкт-Петербург: ГНИИ «Нацразвитие», 2020. – С. 56-61.

2. Усманов Ж., Насриддинов Ш., Хамидов Б. Разработка фотоэлементов на основе кремния с нанокластерами атомов марганца // Современные материалы, техника и технологии. 2017. №5 (13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-fotoelementov-na-osnove-kremniya-s-nanoklasterami-atomov-margantsa> (дата обращения: 25.02.2023).

3. Manoj Kumar, P., Mukesh, G., Naresh, S., Mohana Nitthilan, D., Kishore Kumar, R. (2021). Study on Performance Enhancement of SPV Panel Incorporating a Nanocomposite PCM as Thermal Regulator. In: Mohan, S., Shankar, S., Rajeshkumar, G. (eds) Materials, Design, and Manufacturing for Sustainable Environment. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9809-8\\_44](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9809-8_44)

УДК 621-313.3

## **ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Р.Р. Усманов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Р.Н. Закиров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
[monster\\_beats2016@mail.ru](mailto:monster_beats2016@mail.ru)

Рассмотрены возможности энергоснабжения зданий с применением топливных элементов. Имеется мировой опыт использования топливных элементов энергоснабжения зданий. Показано преимущество применения для энергоснабжения зданий ТЭ двух типов: на основе расплавленного карбоната мощностью до 2 МВт и твердотельных оксидных ТЭ мощностью от 250 кВт до 5 МВт.

**Ключевые слова:** Энергоснабжение зданий, топливные элементы, комбинированные энергоустановки.

# ENERGY SUPPLY OF RESIDENTIAL BUILDINGS USING FUEL CELLS

R.R. Usmanov

KSPEU, Kazan, Russia

monster\_beats2016@mail.ru

The possibilities of energy supply of buildings using fuel cells are considered. There is a world experience in the use of fuel cells for energy supply of buildings. The advantage of using two types of thermal power plants for power supply of buildings is shown: based on molten carbonate with a capacity of up to 2 MW and solid-state oxide thermal power plants with a capacity of 250 kW to 5 MW.

**Keywords:** Energy supply of buildings, fuel cells, combined power plants.

Рассмотрены системы энергоснабжения зданий с применением топливных элементов, как более эффективный и надежный способ получения энергии. В настоящее время топливные элементы все активней используются в самых разных областях таких как стационарные электростанции, автономные источники тепло- и электроснабжения зданий. Актуальность энергоснабжения зданий с помощью ТЭ заключается в простоте эксплуатации, экологичности, повышенному КПД в отличие от ДВС, малогабаритность и доступность по топливу, как на чистом водороде, так и на смеси природного газа с водородом. Самый главный фактор — это экономичность производства электроэнергии и тепловой энергии.

В мировой практике имеется опыт энергоснабжения двух зданий, в которых в качестве одного из источников энергии используются топливные элементы: отель, расположенный в Японии и больница в США. В зданиях отеля и больницы установлены ТЭ номинальной мощностью 100 и 200 кВт соответственно, при этом используется и электрическая, и тепловая энергия. Эти элементы построены на технологии PAFC — элементы с электролитом на основе ортофосфорной кислоты (Phosphoric Acid Fuel Cells, PAFC) [2]. База военно-морской авиации Jacksonville была оснащена топливным элементом PC25 Model C производства United Technologies, Inc. Этот элемент относится к типу PAFC мощностью 200 кВт [5]. Станция на ТЭ мощностью 200 МВт построена компанией Akzo Nobel and Nedstack в Нидерландах [4]. Американская компания FuelCell Energy (<http://www.fuelcellenergy.com>) представляет на рынке топливные элементы моделей DFC 300A, DFC 1500 и DFC 3000 мощностью

соответственно 250, 1 000 и 2 000 кВт, выполненные на основе технологии MCFC [3]. Отель Nagoya Sakae Washington Hotel Plaza (Нагоя, Япония). Использована комбинированная система производства тепловой и электрической энергии на основе ТЭ FP-100 производства Fuji Electric номинальной мощностью 100 кВт [5].

В настоящее время для энергоснабжения зданий возможно применение двух типов ТЭ:

1. Топливные элементы на основе расплавленного карбоната (Molten Carbonate Fuel Cells, MCFC). Топливные элементы на основе расплавленного карбоната требуют значительного времени запуска и не позволяют оперативно регулировать выходную мощность, поэтому основная область их применения — крупные стационарные источники тепловой и электрической энергии мощностью до 2 МВт.

2. Твердотельные оксидные топливные элементы (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC). В настоящее время самый большой парк топливных элементов построен на основе технологии PAFC. Такие же особенности, как и у топливных элементов на основе расплавленного карбоната, определяют и сходную область применения — крупные стационарные источники тепловой и электрической энергии. Рыночный сегмент таких элементов — стационарные установки для производства тепловой и электрической энергии мощностью от 250 кВт до 5 МВт [1].

### **Источники**

1. М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий // Журнал «АВОК», 2003, № 3, с. 44.

2. М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий. // Журнал «АВОК», 2004, № 2, с. 52–60.

3. Н. В. Шилкин. Топливные элементы: интерес проектировщиков возрастает // Журнал «АВОК», 2004, № 7.

4. Н. В. Осетрова, А. М. Скундин. Использование топливных элементов в жилищном строительстве // Электрохимическая энергетика, 2005. Т.6, № 1. С. 30-35.

5. М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. Использование топливных элементов для водоснабжения зданий // Журнал «АВОК», 2014, № 5.

## ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДА КИСЛОВОДСК (ОБЗОР)

К.А. Фадеева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ksenia\_fadeeva17@icloud.com

В настоящей статье рассматривается централизованное и децентрализованное теплоснабжение города Кисловодска, а также проблемы в теплоснабжении.

**Ключевые слова:** Кисловодск, теплоснабжение, тепловая нагрузка, котельные, ТЭЦ, оборудование.

## HEAT SUPPLY OF THE CITY OF KISLOVODSK (OVERVIEW)

K.A.Fadeeva

KSPEU, Kazan, Russia

ksenia\_fadeeva17@icloud.com

This article discusses the centralized and decentralized heat supply of the city of Kislovodsk, as well as problems in heat supply.

**Keywords:** Kislovodsk, heat supply, heat load, boiler houses, CHP, equipment.

Кисловодск является самым южным городом Ставропольского края. Расположен в 234 км от города Ставрополя, в 64 км от станции Минеральные Воды, в северных предгорьях Большого Кавказа на высоте 725–1200 метров над уровнем моря. Возник из русской военной крепости, основанной в 1803 году. Кисловодск – город-курорт в Ставропольском крае Российской Федерации, является административным центром. Площадь населенного пункта составляет 72 км<sup>2</sup>. Общая численность населения Кисловодска 127 521 чел. [1].

Жилой фонд Кисловодска составляет 863 дома с общей площадью 2 057 547 м<sup>2</sup>.

Одним из базовых источников тепловой энергии в системе теплоснабжения города Кисловодск является Кисловодская ТЭЦ ООО «Лукойл-Ставропольэнерго».

Кисловодская ТЭЦ – паротурбинная теплоэлектроцентраль [2]. В качестве топлива использует природный газ. Турбоагрегат станции введён

в эксплуатацию в 1996 году, при этом сама станция эксплуатируется с 1935 года, являясь старейшей ныне действующей электростанцией региона. Установленная электрическая мощность станции – 6 МВт, тепловая мощность – 95 Гкал/час. Оборудование станции включает в себя два паровых котла марки БМ-35-РФ, которые в сумме способны вырабатывать до 100 тонн пара в час, турбоагрегат марки Р-6-35/5М-1 и два водогрейных котла марки КВГМ-30 суммарной производительностью 60 Гкал/ч. В состав Кисловодской ТЭЦ также входят тепловые сети (Южный и Восточный лучи). Их общая протяженность в двухтрубном исчислении составляет 10 450 м. Данная станция обеспечивает теплом более половины объектов санаторно-курортного комплекса г. Кисловодска.

На балансе ООО «ЛУКОЙЛ – Ставропольэнерго» находятся Кисловодская ТЭЦ, имеющая установленную тепловую мощность – 179 Гкал/ч и Котельная «Запикетная», имеющая установленную тепловую мощность – 60 Гкал/ч.

Теплоснабжающая организация ОАО «Теплосеть» входит в состав базовых источников теплоснабжения г. Кисловодск и включает в себя 19 котельных суммарной установленной мощностью – 233,91 Гкал/час, а также кроме котельных на балансе компании находятся 25 ЦТП (16 из них предназначены для обеспечения центрального отопления и горячего водоснабжения потребителей, 9 – для горячего водоснабжения) [3].

Наиболее крупными источниками тепловой энергии являются котельные, расположенные по следующим адресам: Набережная 1, Замковая 72, Островская 35, Минеральная, 25.

Котельная по ул. Минеральная, 25 ОАО «Теплосеть» работает на 2-х водогрейных котлах марки ДКВР-20/13 и на одном ДЕ-25/14. Суммарная установленная мощность котельной составляет 52 Гкал/ч.

Котельная по ул. Островского, 35 ОАО «Теплосеть» работает на 3-х водогрейных котлах марки ТВГ-8М. Установленная тепловая мощность котельной составляет 16,8 Гкал/ч.

Котельная по ул. Замковая, 72 ОАО «Теплосеть» работает на 3-х водогрейных котлах марки ТВГ-8М. Установленная тепловая мощность котельной составляет 16,8 Гкал/ч.

Источники ОАО «Теплосеть» обеспечивают теплоснабжение и ГВС потребителей жилищного сектора, общественных зданий, ряда учреждений санаторно-курортного комплекса в Северной, Восточной, Юго-Западной и Западной градостроительных зонах.

Источники ООО «ЛУКОЙЛ-Ставропольэнерго» работают преимущественно на теплоснабжение и ГВС потребителей санаторно-

курортного комплекса в Южной, Юго-Восточной и Западной градостроительных зонах, обеспечивая также потребителей жилищного сектора и общественные здания.

Суммарная расчетная тепловая нагрузка, подключенная к источникам ОАО «Теплосеть», составляет 125,519 Гкал/час. Суммарная расчетная тепловая нагрузка, подключенная к источникам ООО «ЛУКОЙЛ-Ставропольэнерго», составляет 90,670 Гкал/час.

Анализируя состояние теплоснабжения города, можно сделать вывод, что системы покрывают тепловую нагрузку города, но технологическое оборудование ТЭЦ и котельных изношено и требует модернизации или полной замены, также как и состояние тепловых сетей.

### **Источники**

1. Официальный сайт администрации Кисловодска [Электронный ресурс]. <https://kislovodsk-kurort.org/o-gorode-kurorte/istoriia-goroda> (дата обращения: 21.02.2023)

2. Официальный сайт ООО «ЛУКОЙЛ-Ставропольэнерго» [Электронный ресурс]. <https://stavropolenergo.lukoil.ru/ru> (дата обращения: 21.02.2023)

3. Схема теплоснабжения города-курорта Кисловодска на период до 2028 года. Глава 1. Существующее положение в сфере производства, потребления и передачи тепловой энергии для целей теплоснабжения. Администрация города Кисловодска. Дата обращения: 21 февраля 2023

УДК 621.499.3

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ**

В.В. Титенков<sup>1</sup>, Д.К. Фатхуллина<sup>2</sup>

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» А.И. Минибаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>vyacheslavT90@yandex.ru, <sup>2</sup>fatkhullina\_n\_kki@mail.ru

В статье рассматриваются основные способы применения ядерных технологий в медицине. Рассмотрены перспективы их развития и использования.

**Ключевые слова:** медицина, атомные реакторы, недостатки, перспективы.

# APPLICATION OF NUCLEAR TECHNOLOGIES IN MEDICINE

V.V. Titenkov<sup>1</sup>, D.K. Fathullina<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>vyacheslavT90@yandex.ru, <sup>2</sup>fatkhullina\_n\_kki@mail.ru

The article discusses the main ways of using nuclear technologies in medicine. The prospects of their development and use are considered.

**Keywords:** medicine, nuclear reactors, disadvantages, prospects.

Атомные реакторы могут использоваться в медицине для производства радиоактивных изотопов, которые затем используются в диагностических и лечебных процедурах [1-3]. Одним из наиболее распространенных изотопов является технеций-99m, который широко применяется в медицинской индустрии для диагностики рака, болезней сердца и других заболеваний [4]. Для производства технеция-99m атомный реактор используется для облучения природного изотопа молибдена-98, который превращается в молибден-99. Молибден-99 затем помещается в специальные реакторы, где он распадается на технеций-99m. Этот процесс является очень эффективным способом производства технеция-99m, при этом поставки технеция-99m в мире практически полностью осуществляются на базе атомных реакторов. Этот изотоп используется в диагностических процедурах, включая сцинтиграфию и однофотонную эмиссионную томографию (SPECT), которые позволяют визуализировать функцию органов и тканей внутри тела. Кроме того, радиоактивные изотопы, получаемые на атомных реакторах, используются в протонных лечених некоторых видов онкологических заболеваний. Благодаря этим технологиям улучшается точность диагностики и эффективность лечения, что позволяет снизить количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов, а также сократить необходимость проведения более инвазивных и рискованных процедур. В дополнение к этому, изотопы, полученные на атомных реакторах, используются в исследованиях биологических процессов и фармакокинетики лекарственных препаратов, что имеет большое значение в развитии новых медицинских технологий. Одним из главных преимуществ использования радиоактивных изотопов на атомных реакторах является их быстрое распадение. Это означает, что пациенты, прошедшие диагностические или лечебные процедуры с использованием таких изотопов, не подвергаются длительному облучению и могут быстро вернуться к повседневной деятельности. Кроме того, технологии, связанные с производством радиоактивных изотопов на атомных реакторах, являются надежными и



эффективными, что позволяет обеспечивать высокое качество и стабильность поставок изотопов для медицинской индустрии. Благодаря этим технологиям такие диагностические и лечебные процедуры становятся более доступными для большого количества пациентов.

Одним из наиболее распространенных методов является ядерная магнитно-резонансная томография (ЯМРТ), которая позволяет получать детальные 3D-изображения органов и тканей человека без использования рентгеновского излучения. Также с помощью ЯМРТ могут быть обнаружены различные заболевания, такие как опухоли и рак.

Другим методом является позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), который использует радиоактивные меченые молекулы, с помощью которых можно получать информацию о метаболизме и работе органов и тканей. ПЭТ используется в диагностике рака, сердечно-сосудистых заболеваний и нервной системы. Также существуют методы лучевой терапии, которые используют ядерные реакторы и ускорители частиц для получения ионизирующего излучения. Эти методы позволяют лечить рак и другие заболевания, уничтожая опухолевые клетки и нормализуя работу органов и тканей.

Еще одним применением ядерных технологий в медицине является использование радионуклидов для создания контрастных веществ для рентгеновской, ядерной и компьютерной томографии. Такие вещества позволяют получать более точные изображения и обнаруживать скрытые заболевания.

В целом, использование атомных реакторов в медицине имеет огромные перспективы в развитии инновационных и высокотехнологичных методов диагностики и лечения, что особенно актуально в условиях активного развития медицинской науки и новых вызовов, связанных с возрастающей потребностью в качественной и доступной медицинской помощи. Однако, важно отметить, что разработка новых технологий на базе атомных реакторов в медицине должна идти параллельно с развитием системы контроля и управления рисками, которые связаны с использованием радиоактивных материалов в области медицины.

### **Источники**

1. Ядерная медицина [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерная\\_медицина](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ядерная_медицина) (дата обращения 03.03.2023).

2. Технологии ядерной медицины [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/109680/1/978-5-7996-3426-1\\_2022.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/109680/1/978-5-7996-3426-1_2022.pdf) (дата обращения 05.03.2023).

3. Медицина и биотехнологии медицины [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://atomvestnik.ru/wp-content/uploads/2021/03/Atom\\_10\\_2020\\_v6.pdf](https://atomvestnik.ru/wp-content/uploads/2021/03/Atom_10_2020_v6.pdf)(дата обращения 07.03.2023).

4. Мифтахов А.Р. Переход с уранового топливного цикла на ториевый / А.Р. Мифтахов, А.Е. Юдина, А.И. Минибаев // Фундаментальные и прикладные исследования: концепты, методики, новации: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 12-13 мая 2022 года. – Ростов-на-Дону: Профпресслит, 2022. – С. 273-275. – EDN LNFPCS.

УДК 621.039.003

## РОЛЬ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ СТРАН

В.А. Лавриков<sup>1</sup>, В.В. Титенков<sup>2</sup>, Д.К. Фатхуллина<sup>3</sup>

Науч. рук. ст. преп. каф. «АТЭС» Минибаев А.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vasiliylavricov@mail.ru, <sup>2</sup>VyacheslavT90@yandex.ru, <sup>3</sup>fatkhullina\_n\_kki@mail.ru

В статье рассматриваются основные преимущества ядерной энергетики, способствующие стратегической энергетической независимости стран. Также рассмотрена роль ядерной энергетики в борьбе с глобальными климатическими изменениями.

**Ключевые слова:** ядерная энергетика, электроснабжение, стратегическая энергетическая независимость.

## THE ROLE OF NUCLEAR POWER IN THE STRATEGIC ENERGY INDEPENDENCE OF COUNTRIES

V.A. Lavricov<sup>1</sup>, V.V. Titenkov<sup>2</sup> D.K. Fathullina<sup>3</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>vasiliylavricov@mail.ru, <sup>2</sup>VyacheslavT90@yandex.ru, <sup>3</sup>fatkhullina\_n\_kki@mail.ru

The article discusses the main advantages of nuclear energy, contributing to the strategic energy independence of countries. The role of nuclear energy in the fight against global climate change is also considered.

**Keywords:** nuclear power, power supply, strategic energy independence.

Ядерная энергетика играет важную роль в стратегической энергетической независимости современных стран:

- позволяет диверсифицировать источники энергии и снизить зависимость от импорта нефти и газа [1].

- ядерная энергетика обеспечивает стабильность электроснабжения и уменьшает вероятность возникновения энергетических кризисов [2]. Кроме того, ядерная энергетика позволяет снизить углеродный след и повысить экологическую безопасность. В связи с этим, многие страны, особенно те, у которых нет значительных запасов нефти и газа, активно развивают ядерную энергетику, чтобы обеспечить свою энергетическую независимость.

Значительная часть электроэнергии в развитых странах уже сейчас производится с помощью атомных электростанций. В тоже время, следует отметить, что использование ядерной энергии не обходится без определенных рисков и проблем.

Во-первых, существует угроза ядерных аварий, таких как чернобыльская и фукусимская катастрофы. Отсюда следует, что строительство ядерных электростанций, их эксплуатация и утилизация радиоактивных материалов требуют высокой квалификации и соответствующих мер безопасности [3].

Во-вторых, существует проблема утилизации радиоактивных отходов.

Тем не менее, в целом использование ядерной энергетики имеет много преимуществ, которые необходимо учитывать при принятии стратегических решений в области энергетике:

- ядерная энергетика сейчас является одним из наиболее экономически эффективных источников энергии.

- ядерная энергетика обеспечивает дополнительную стабильность системы электроснабжения [3]. Она также позволяет свести к минимуму вероятность возникновения энергетических кризисов и обеспечивает возможность более глубокой интеграции в мировую экономику.

Таким образом, использование ядерной энергетике является необходимой составляющей стратегической энергетической независимости стран. Преимущества, которые она предоставляет, отчасти перевешивают риски, связанные с ее использованием. Однако важно учитывать и те проблемы, которые могут возникнуть при использовании ядерной энергетике, и работать над их решением. Это связано не только с опасностями ядерных аварий, но и с проблемами производства, транспортировки и хранения радиоактивных материалов.

Несмотря на это, ядерная энергетика является одним из наиболее перспективных источников энергии в мире. Она не только способствует энергетической независимости стран, но и может быть использована для более глубокого интегрирования в международную экономику и улучшения экологической обстановки [4, 5]. Поэтому развитие ядерной энергетики остается актуальной и важной задачей для многих стран в мире. Надо также отметить, что использование ядерной энергетики может сыграть значительную роль в борьбе с глобальным изменением климата. Электростанции на основе ядерной энергии не выбрасывают парниковые газы, и потому являются низкоуглеродным источником электроэнергии.

В то же время, следует отметить необходимость дальнейшего развития технологий по утилизации радиоактивных отходов и обеспечения безопасности ядерных установок. Кроме того, можно проводить исследования в области использования новых моделей ядерных реакторов, которые могут быть более безопасными и экологически чистыми.

Таким образом, ядерная энергетика не только является важной составляющей стратегической энергетической независимости страны, но и может быть ключевым источником энергии в будущем, который может обеспечить необходимую стабильность и независимость, особенно в условиях растущей конкуренции на мировом рынке энергоносителей.

### **Источники**

1. Развитие ядерной энергетики: глобальные проблемы и стратегии [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.iaea.org/sites/default/files/39205080208\\_ru.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/39205080208_ru.pdf) (Дата обращения: 06.03.2023).

2. Преимущества атомной энергетики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosatom.ru/about-nuclear-industry/preimushchestva-atomnoy-energetiki/> (Дата обращения: 06.03.2023).

3. Что такое ядерная энергия? [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://tass.ru/spec/aserussia\\_atom](https://tass.ru/spec/aserussia_atom) (Дата обращения 06.03.2023).

4. Основные направления развития атомного производства и технического образования в XXI веке [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=6464> (Дата обращения: 06.03.2023).

5. Мифтахов А.Р. Переход с уранового топливного цикла на ториевый / А.Р. Мифтахов, А.Е. Юдина, А.И. Минибаев // Фундаментальные и прикладные исследования: концепты, методики, новации: Материалы VI Всероссийской научно-практической

конференции, Ростов-на-Дону, 12-13 мая 2022 года. – Ростов-на-Дону: Профпресслит, 2022. – С. 273-275. – EDN LNFPCS.

УДК 662. 769

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗООХЛАЖДАЕМОГО РЕАКТОРА С ЭЛЕКТРОЛИЗНЫМ ПОЛУЧЕНИЕМ ВОДОРОДА НА АТОМНЫХ СТАНЦИЯХ**

А.А. Филимонов <sup>1</sup>, А.В. Печенкин <sup>2</sup>

Науч. рук. д. т. н, доцент Филимонова А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vip.jokermigel@mail.ru, <sup>2</sup>pav\_0910@mail.ru

В статье предложено сравнение общих показателей и характеристик получения водорода электролизом и с помощью высокотемпературного газоохлаждаемого атомного реактора на атомных станциях. Также сделаны выводы об их преимуществах и недостатках. Предложена более рациональная технология для получения водорода.

**Ключевые слова:** водород, энергия, безопасность, эффективность, возобновляемая электроэнергия.

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF A HIGH-TEMPERATURE GAS- COOLED REACTOR WITH ELECTROLYSIS PRODUCTION OF HYDROGEN AT NUCLEAR PLANTS**

A.A. Filimonov <sup>1</sup>, A.V. Pechenkin <sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>vip.jokermigel@mail.ru, <sup>2</sup>pav\_0910@mail.ru

The article proposes a comparison of the general indicators and characteristics of hydrogen production by electrolysis and using a high-temperature gas-cooled nuclear reactor at nuclear power plants. Conclusions are also drawn about their advantages and disadvantages. A more rational technology for hydrogen production has been proposed.

**Keywords:** hydrogen, energy, safety, efficiency, renewable energy.

Водородная экономика (широкомасштабное производство и потребление водорода) нацелена на решение глобальных задач декарбонизации и обеспечения ресурсами развития общества. Целевым направлением государственной корпорации по атомной энергии

«Росатом» в перспективе может быть водород. Его производство, потребности и рынок сравнимы с традиционным продуктом Росатома – электроэнергией [1].

В состав АО «Концерн Росэнергоатом» входит 10 атомных электрических станций (АЭС). На всех АЭС присутствуют электролизные установки для производства водорода. Из-за отношения потребности в электроэнергии и максимально допустимой мощности часть АЭС «недогружена». Например, на Кольской атомной электрической станции (КолАЭС) «свободно» около 500 МВт энергии. Создание электролизной установки для получения водорода на КолАЭС даст около 0,1 миллиона тонн  $H_2$  в год.

Электролизом называют процессы, происходящие на электродах под действием электрического тока, подаваемого от внешнего источника. При электролизе происходит превращение электрической энергии в химическую. Электролизер состоит из двух электродов (катод и анод) и электролита и представляет собой контейнер на бетонной поверхности [2].

Работа электролизной установки безопасно осуществляется при помощи датчиков контроля водорода, которые реагируют на превышение установленных параметров, а также системы пожаротушения и вентиляции.

Преимущества электролиза заключаются в том, что он имеет высокую чистоту конечного продукта (99.999%). А недостатки – это высокие энергетические затраты, конкуренция с прямым использованием возобновляемой электроэнергии, сложностью технологии, необходимостью подготовки персонала для обслуживания, потребностью в постоянно контроле за работой установки.

Однако не только электролизное получение водорода на АЭС является перспективным направлением по его производству. Высокие температуры повышают эффективность генерации электричества (~50%) и открывают возможность использования высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР) для технологических процессов, в том числе переход к экологически чистой водородной энергетике. В этом типе реактора в качестве теплоносителя выступает гелий. Выделяющееся в ВТГР тепло используется на преобразование углеводородного топлива в водород. Пассивные системы расхолаживания, обеспечивают наивысший уровень безопасности и невозможность расплавления активной зоны [3, 5, 6].

Основными технологиями ВТГР, разработанными в России, являются системы расхолаживания, система преобразования энергии,

высокотемпературные парогенераторы и теплообменники, технология гелиевого теплоносителя, конструкция модульного реактора и топливо для ВТГР.

Преимущества ВТГР заключаются в его высокой экономической эффективности, безопасности используемого топлива и перспективе поставки электрической и тепловой энергии за рубеж. Недостатками является только невысокая чистота водорода относительно электролизного получения (~98%). Однако существует множество технологий доочистки водорода.

В результате сравнительного анализа, можно заметить, что экономически выгоднее и безопаснее использовать ВТГР, хоть он и не производит столь чистого водорода, как электролиз, но в долгосрочной перспективе, возможно, этот пункт будет усовершенствован [4].

### **Источники**

1. Пономарев-Степной Н.Н. / Совет по приоритетному направлению стратегии НТР РФ / Лекция «Перспективы атомно-водородной энергетики» / Москва, 25 октября 2018;

2. Коровин Н.В. / Общая химия: Учеб. Для технических направ. И спец. вузов/Н.В. Коровин – 6-е изд., испр. / С. 284.

3. [Электронный ресурс] Новости «Росатома» URL: <https://rosenergoatom.ru/zhurnalistam/news/42683/> (дата обращения 12.02.2023);

4. Новикова М.В., Портянкин А.В., Хрусталеv В.А. / Способ работы энергоблока АЭС с водородной надстройкой и высокотемпературными электролизерами / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А."

5. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В / Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;

6. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электростанции / Стерман Л.С., Тевлин С.А., Шарков А.Т. – М.: Энергоиздат, 1982.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ**

Э.Т. Хабибуллина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Р.Н. Закиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

habibultim23@gmail.com

В статье рассмотрены способ автоматизации учета электрической энергии и возможность его введения в многоквартирные дома, жилые помещения.

**Ключевые слова:** АСКУЭ, автоматизация, электрическая энергия, учет электрической энергии.

## **AUTOMATION OF ELECTRICITY METERING IN APARTMENT BUILDINGS**

E.T. Khabibullina

KSPEU, Kazan, Russia

habibultim23@gmail.com

The article considers a method for automating the accounting of electrical energy and the possibility of its introduction into apartment buildings, residential premises.

**Keywords:** SCADA, automation, electrical energy, accounting of electrical energy.

В настоящее время каждая сфера деятельности человека требует определенных затрат энергии в том или ином виде. Мировой объем потребляемой энергии постоянно растет из года в год.

До сих пор одной из главных проблем электроэнергетики является большая разница между количеством отпущенной от станции электроэнергии и потребленной, то есть имеют место так называемые потери электроэнергии. Ввиду роста потребления объемов электроэнергии возникает необходимость повышения точности и оперативности ее учета.

Так, четкая и прозрачная организация систем контроля и учета энергоресурсов способствует существенному снижению энергетических затрат. Поэтому внедрение автоматизированных систем поможет решить ряд задач, начиная с отслеживания баланса отдельных потребителей и



заканчивая принятием быстрых, оперативных решений, касающихся работы системы электроснабжения.

Чтобы организовать эффективный автоматизированный учет с оперативной передачей данных из множества точек, необходимо внедрить современные автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии (далее - АСКУЭ). Они представляют собой измерительный инструмент, который позволяет осуществлять комплекс мероприятий по энергосбережению с возможностью корректировки ввиду нестабильной экономической среды [1].

Принцип работы АСКУЭ заключается в следующем. Каждый потребитель электроэнергии устанавливает электронный прибор учета, оборудованный модулем для передачи сигналов (например, GSM модем). Счетчики по определенному расписанию передают сигнал, частота которого определяется автоматизированной системой. Эти данные автоматически собираются в устройства сбора и передачи данных (УСПД) с помощью каналов RS, PLC, RMA и т.д. Затем показания поступают в центр обработки информации, где данные хранятся и обрабатываются с применением специально разработанного программного обеспечения. В незагруженной АС допускается передача напрямую серверу. По такому принципу работает трехуровневая схема (см. рисунок).

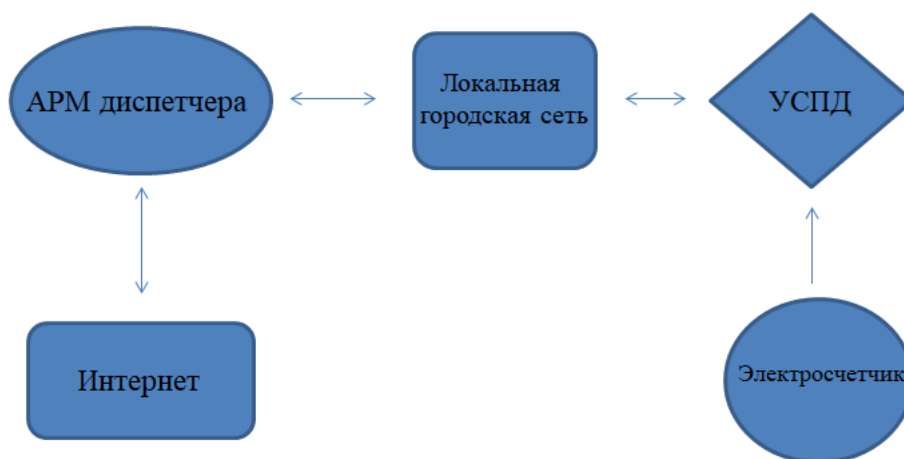


Рис. 1 Трехуровневая схема

Исходя из вышеуказанной схемы, система учета имеет следующую структуру:

- нижний уровень, который включает в себя средства измерения;
- средний уровень, который состоит из устройств сбора и передачи информации;

- верхний уровень, включающий в себя центральный узел сбора и обработки данных [2].

АСКУЭ помогает решить проблему достоверной передачи данных с прибора учета. Ведь сейчас в большинстве случаев учет электроэнергии основан на базе визуального снятия показаний приборов учета и ручной обработки этих показаний.

Применение АСКУЭ имеет большие перспективы и, не смотря на дороговизну установки такой системы, срок окупаемости варьируется всего лишь в пределах 4-8 месяцев [3].

Система автоматизированного контроля учета электроэнергии представляет собой сложную многоуровневую схему. Широкое внедрение информационных технологий и средств автоматизации позволяет повысить эффективность производства и использование электрической энергии.

### **Источники**

1. Титаренко О.Н., Куликова Н.А., Чуклин А.А. Автоматизация учета потребления электроэнергии в бытовом секторе как одно из важных направлений энергосбережения в электроэнергетике // Сборник статей. - Севастополь: 2017. - С. 65-70.

2. Закирова И.Р., Вилданов Р.Р. Внедрение автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов на объектах ЖКХ // Наука и образование: новое время. - Казань: 2019. - С. 1-3.

3. АСКУЭ: что это такое? // Стриж. ЖКХ URL: <https://uchet-jkh.ru/publikacii/askue-cto-eto-takoe.html> (дата обращения: 18.12.22).

УДК: 621.438.016

## **ОСОБЕННОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК С ВВОДОМ ПАРА**

И.Р. Хайдаров

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Р.Р. Вилданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

khaidarov.i.r\_2000@kgeu.ru

В данной работе рассмотрена концепция парогазовой установки, работающей на природном газе с вводом пара. Исходя из структурной схемы можно определить преимущества данной конфигурации парогазовой установки.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, ввод пара, конструктивные особенности, упрощенная тепловая схема.

## FEATURES OF COMBINED PLANT WITH STEAM INPUT

I.R. Khaidarov

KSPEU, Kazan, Russia

khaidarov.i.r\_2000@kgeu.ru

In this paper, the concept of a combined-cycle gas plant operating on natural gas with steam input is considered. Based on the block diagram, it is possible to determine the advantages of this configuration of a combined-cycle gas installation.

**Keywords:** combined-cycle gas installation, steam input, design features, simplified thermal scheme.

В связи с падением мощностей, консервацией атомной энергетики в РФ, а также физическим и моральным устареванием оборудования, которое имеет износ вплоть до 75% необходимо учесть возможности реальных инвестиций в сохранение окружающей среды и использование экологически чистого топлива – природного газа. Из разработанных и доведённых до безопасного промышленного использования газа наибольшую экономичность преобразования энергии топлива в электрическую имеют парогазовые установки (ПГУ).

В настоящее время широко используются ПГУ по схеме STIG или с промежуточным охлаждением воздуха в компрессоре схема ISTIG, в которых происходит смешивание двух рабочих тел (продуктов сгорания и водяного пара). Изначально вводилось небольшое количество пара для снижения образования оксида азота, но в дальнейшем количество вводимого пара стали увеличивать. Что в свою очередь позволило использовать получаемый в котле-утилизаторе пар вместо охлаждающего воздуха. Такая схема наиболее эффективно охлаждает лопаточный аппарат, а также повышает температуру газа до 1500-1600 °С. Зависимость удельной мощности ПГУ от начальной температуры газа приведена на Рис.1.

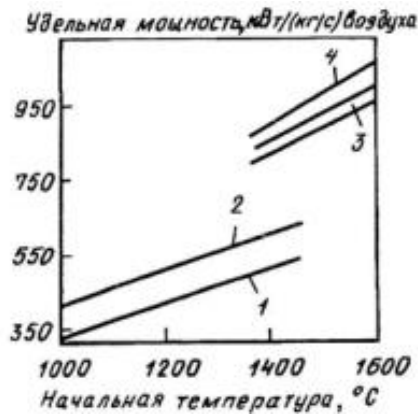


Рис.1. Зависимость удельной мощности парогазовой установки от начальной температуры газа: 1 – парогазовая установка с котлом-утилизатором (одно давление); 2 – парогазовая установка с котлом-утилизатором (два давления); 3 – ISTIG; 4 – ISTIG с паровым приводом компрессора низкого давления.

Также представилось интересным проанализировать упрощенную тепловую схему ПГУ с впрыском пара (Рис.2), в которой отсутствует паровая турбина, конденсатор и система охлаждения циркуляционной воды. В данной схеме парогазовой установки пар, выработанный в котле-утилизаторе после прохождения через газовую турбину выбрасывается с отработанными газами в окружающую среду. При этом потери легко восполняются химически очищенной водой, а степень очистки варьируется в зависимости от котла-утилизатора, водного режима и сепарационной схемы с промывкой пара. Исходя из расчётов КПД таких ПГУ составляет 56%; расход электроэнергии на собственные нужды 2,2% и мощность 118,8 МВт [1]. ПГУ с вводом пара показана на Рис.2.

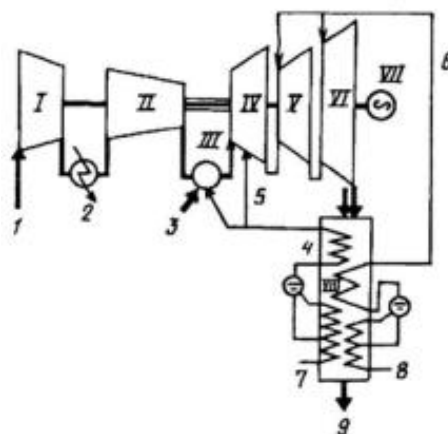


Рис.2. Парогазовая установка с вводом пара

I – компрессор низкого давления (КНД); II – компрессор высокого давления (КВД); III – камера сгорания (КС); IV – турбина высокого давления (ТВД); V – турбина низкого давления (ТНД); VI – силовая турбина; VII – генератор; VIII – котел-утилизатор (КУ)

Представленная тепловая схема позволяет снизить затраты, а также сокращает время ввода установки в эксплуатацию и упрощает техническое обслуживание парогазовой установки. Данная установка удовлетворяет следующим требованиям – тепловая экономичность, упрощение тепловой схемы, установление оптимального соотношения параметров, приведённых ранее [2].

Подводя итоги, можно сказать, что ввод пара в газовую турбину позволяет повысить экономичность и экологичность парогазовой установки в целом, при высоком коэффициенте полезного действия ускорить строительство электростанции за счет упрощения тепловой схемы и уменьшения объема монтажных работ.

### **Источники**

1. Парогазовая установка с вводом пара в газовую турбину - перспективное направление развития энергетических установок / В. М. Батенин, Ю. А. Зейгарник, С. З. Копелев [и др.] // Теплоэнергетика. – 1993. – № 10. – С. 46-52. – EDN YZNSLB.

2. Махнутин, А. К. О вопросах применения газотурбинных установок и парогазовых установок в энергетике / А. К. Махнутин, Б. В. Кавалеров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2015. – № 15. – С. 84-96. – EDN SKDAJT.

УДК 621.311.22

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ТУРБОУСТАНОВКИ ТП-115-125-130-2ТП**

К.Т. Хайретдинова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А. Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lagertta72@yandex.ru

В данном тексте описывается анализ эффективности работы турбоустановки Тп-115/250-130-2ТП. Было проведено исследование, которое показало, что переключение деаэратора питательной воды на второй нерегулируемый отбор может повысить внутренний КПД установки. В целом, данное исследование представляет интерес для специалистов, занимающихся проектированием и эксплуатацией ТЭС.

**Ключевые слова:** турбина, отбор, подогреватель, деаэратор.

## STUDYING WAY TO IMPROVE THE POWER OF A TURBOUNIT TP-115-125-130-2TP

K.T. Hayrettinova  
KSPEU, Kazan, Russia  
lagertta72@yandex.ru

This text describes the analysis of efficiency of turbine unit TP-115-125-130-2TP. A study was carried out, which showed that switching the feedwater deaerator to the second unregulated extraction can increase the internal efficiency of the unit. In general, this study is of interest for specialists involved in the design and operation of thermal power plants.

**Keywords:** turbine, selection, preheater, deaerator.

Эффективность и надежность турбин зависят прежде всего от состояния их основных элементов, таких как проточная часть, диафрагмы и уплотнения. Повреждения и износ лопаток, появление на них отложений, а также деформации и изменения расположения других элементов приводят к потерям и снижению коэффициента полезного действия (КПД) турбин.

Целью данного исследования является повышение эффективности турбоустановки TP-115/125-130-2TP путем анализа литературных источников и расчета основных значений.

Загрязнения в питательной воде и паре могут попадать в систему циркуляции и снабжения водой через неплотности в заделке трубок конденсаторов и подогревателей, а также через дренажи теплообменников питательной воды. При высоком расходе пара через проточную часть, даже небольшое содержание примесей может привести к быстрому росту отложений на поверхности лопаток. В турбинах, работающих до 13 Мпа количество растворенной кремниевой кислоты в паре увеличивается, что приводит к ее отложению на поверхности лопаток в кристаллической или аморфной форме. Добавление едкого натра в пар позволяет кремниевой кислоте перейти в растворимые в воде натриевые соли кремния. Отложения искажают форму профилей сопловых и рабочих лопаток, что снижает КПД проточной части [1].

Отложения на элементах проточной части турбины могут вызывать ряд проблем, связанных со снижением КПД и увеличением давления в ступенях турбины. Они искажают форму профилей сопловых и рабочих лопаток, что приводит к уменьшению площади проходного сечения проточной части, увеличению ее гидравлического сопротивления и

давления в ступенях турбины. В результате возрастает осевое усилие и перегружаются упорный подшипник и диафрагмы.

Для предотвращения таких проблем используют различные типы, конструкции и схемы включения подогревателей конденсата и питательной воды. Это могут быть смешивающие и поверхностные подогреватели, снабженные охладителями дренажа и пара, с каскадным сливом дренажа в нижестоящие подогреватели или с подачей его в линию основного конденсата. Однако, даже при использовании таких систем отложения все равно могут образовываться, особенно при нарушении нормальной работы обессоливающей установки. Поэтому регулярная проверка и очистка элементов проточной части турбины является необходимой процедурой для обеспечения ее эффективной работы [2].

В системах теплоснабжения используют различные виды, конструкции и схемы для включения подогревателей конденсата и питательной воды, такие как смешивающие и поверхностные, оснащенные охладителями дренажа и пара, с каскадным сливом дренажа в дальнейшие подогреватели или с подачей на основную линию конденсата [3].

Для определения коэффициента ценности тепла  $e$  и изменения мощности  $\xi$  следует рассмотреть каскадные и узловыи ступени подогрева. Для первой формула будет следующей:

$$e_j = e_1 + \frac{(1 - e_1) \cdot (h_j - h_1)}{(h_j - h_{дрj})}$$

где  $j$  – рассматриваемая ступень подогрева питательной воды;  $h_j$ ,  $h_1$  – энтальпия пара в отборах ступеней  $j$  и  $1$ ;  $h_{дрj}$  – энтальпия дренажа.

Когда как для второй:

$$e_j = \frac{(h_j - h_k - \sum_1^{j-1} e_{\Delta} q)}{(h_j - q_{j-1})}$$

где  $h_k$  – энтальпия отработавшего пара; увеличение энтальпии питательной воды или основного конденсата;  $q_{j-1}$  – энтальпия питательной воды или основного конденсата на входе в ступень.

На Ярославской ТЭЦ-2 в турбоагрегате ТП-115/125-130 расположены 3 узловых и 2 каскадных подогревателя. Их последние ступени питаются паром из одного нерегулируемого отбора, однако, в ходе проведения расчета,  $\xi$  будут отличны друг от друга, поскольку дренаж из предпоследнего подогревателя сливается каскадно в деаэратор.

В случае переключения деаэратора на второй регулируемый отбор произойдет повышение абсолютного КПД турбоагрегата на 0,04%, что способствует экономичному расходу топлива в количестве 272 т у.т. в год.

Таким образом, расчеты показали, что при постоянной мощности установки переключение деаэратора питательной воды на второй нерегулируемый отбор способствует повышению внутреннего КПД на 0,04%, что эквивалентно экономии топлива в размере 272 т у.т. в год (при 4500 часах работы в год). Кроме того, изучение вопросов повышения эффективности работы Тп-115/125-130 наглядно продемонстрировало, что переключение деаэратора питательной воды с КСН 13 ата на второй нерегулируемый отбор турбоагрегата поможет урегулировать работу деаэратора, который питается с первого отбора, что в свою очередь улучшит производительность турбоустановки в целом.

### **Источники**

1. Босов Н. С. Эффективное использование противодавленческих турбин на тепловых электростанциях в условиях снижения производственной нагрузки // Тинчуринские чтения Т 2. Ч 2. – Казань: КГЭУ, 2019. – С. 43-47.

2. Качан А. Д. Оптимизация режимов и повышение эффективности работы паротурбинных установок ТЭС. - Мн.: Выш. шк., 1985. - 176 с.

3. Эфрос Е. И. Исследование характеристик ЧНД на малорасходных режимах с целью повышения эффективности работы и маневренности современных теплофикационных турбин: Дис. канд. техн. наук. - Киров, 1998. - 251 с.

УДК 681.5

## **ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА. МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ**

А.М. Хайрутдинов

Науч. рук. канд. хим. наук Л.В. Сироткина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

arturhai14@gmail.com

Водород является одним из наиболее перспективных видов топлива, его уже сейчас используют в энергетике, строительстве, машиностроении и в других сферах деятельности человека. А самым простым способом добычи водорода является электролиз воды. В данной работе рассмотрены типы конструкций электролизеров.

**Ключевые слова:** Электролизер, электрод, водород.



# HYDROGEN PRODUCTION ELECTROLYZERS. MATERIALS AND STRUCTURES

A.M. Khairutdinov  
KSPEU, Kazan, Russia  
arturhai14@gmail.com

It is one of the most promising types of fuel, it is already used in energy, construction, mechanical engineering and other areas of human activity. And the simplest way to extract hydrogen is the electrolysis of water. In this paper, the types of designs of electrolyzers are considered.

**Keywords:** Electrolyzer, electrode, hydrogen.

Водород в настоящее время является одним из наиболее перспективных энергоносителей, благодаря высокой удельной теплоте сгорания и экологичности использования. Паровой риформинг метана является основным методом получения водорода в настоящее время, который способен обеспечить рентабельную себестоимость продукта и высокую производительность установок. Однако исследователи разрабатывают различные альтернативные процессы, так как в результате процесса выбрасываются большие количества CO<sub>2</sub> в атмосферу, а природный газ является не возобновляемым источником энергии [3].

«Зеленый» водород рассматривается как ключевой вектор декарбонизации широкого энергетического сектора, поскольку его можно использовать для транспорта с нулевым выбросом углерода, отопления, тяжелой промышленности, долгосрочного хранения энергии и в качестве основы углеродно-нейтрального синтетического топлива [4].

Электролиз воды, является наиболее развитой из технологий альтернативной энергетики и позволяет получить водород очень высокой чистоты.

Целью данной работы является изучение основных типов электролизеров и подбор оптимальной электролизной конструкции для получения водорода.

Для осуществления процесса электролиза используются три типа электролизера: щелочной электролизер, протонообменный мембранный электролизер и твердооксидный электролизер. Все они состоят из двух электродов, воды и электролита, который представляет собой вещество, содержащее свободные ионы, которые делают вещество электропроводящим. Название электролизера зависит от используемого электролита. Щелочной и

протонообменный мембранный электролизер определяется как низкотемпературный электролизер (менее  $100^{\circ}\text{C}$ ), а твердооксидный электролизер классифицируется как высокотемпературный ( $900^{\circ}\text{C}$ ) [1].

Материалы из которых сделаны электроды электролизера делятся:

– нерастворимые (инертные) электроды – в процессе электролиза химически не изменяются, а служат лишь для передачи электронов во внешнюю цепь (инертные электроды изготавливаются обычно из графита, угля, платины).

– растворимые (активные) электроды (из меди, цинка, серебра, никеля и других металлов) – во внешнюю цепь электроны посылает сам анод за счет окисления атомов металла, из которого сделан анод.

Электроды электролизера воды изготавливаются из инертных материалов. Наиболее эффективным из них является платина, однако в силу ее дороговизны чаще используются графитовые и электроды из нержавеющей стали [5].

По конструкции электролизеры для электролиза воды делятся на монополярные и биполярные.

Монополярные электролизеры-это те, которые непосредственно подключены к внешней электрической цепи.

Любой из нас может сделать дома элементарный монополярный электролизер, используя лишь батарейку АА (пальчиковую), два провода с металлической пластиной (электрод) и стакан воды. По такому же принципу изготавливают и промышленные электролизеры с нагрузкой до  $200\text{кА}$  [2].

Пример конструкций монополярных электролизеров представлен на рис. 1.

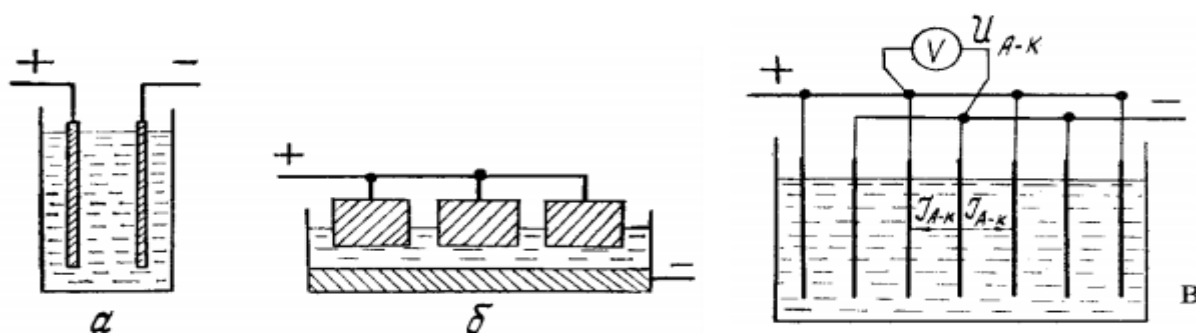


Рис. 1. Типы электролизеров:

а – элементарная электролизная ячейка; б – электролизер с параллельным включением анодов; в – электролизер с плоскопараллельными чередующимися электродами [6]

Достоинствами монополярных конструкций являются:

– Простота конструкции и обслуживания.

- Удельная нагрузка на ячейку в 1,5-2 раза выше, чем в биполярном.
- Легкость подключения в серию.
- Дешевизна.
- Отсутствие токов утечки.

Недостатками монополярных конструкций являются:

- Ограничение токовой нагрузки 150-200 кА.
- Большие затраты производственных площадей.
- Большой расход шин.

Биполярные электроды в электрическую цепь включены по проводникам второго рода. Если разделить пространство между анодом и катодом перегородкой из электропроводного материала на две изолированные зоны, то электрический ток будет проходить по следующему пути: анод → электролит первой зоны → перегородка → электролит второй зоны → катод.

При переходе тока из электролита первой зоны на перегородку происходит катодный процесс, при переходе с перегородки в электролит второй зоны → анодный процесс.

Таким образом, одна из сторон электропроводной перегородки работает как анод, а вторая как катод и перегородка является биполярным электродом, подключенным последовательно к монополярным электродам [3].

Конструкция биполярного электролизера представлена на рис. 2.

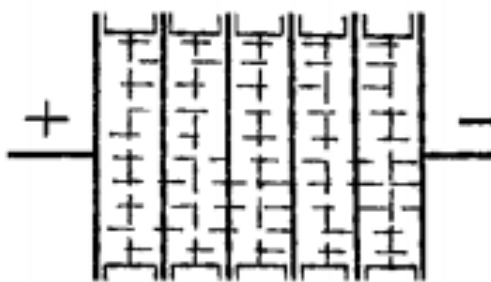


Рис. 2. Биполярный электролизер для получения водорода и кислорода [6]

Достоинствами биполярных конструкций являются:

- Не требуют ошиновки для подвода тока к ячейкам.
- Не имеют пространственных разрывов.
- Экономия места и цветных металлов.
- Токовая нагрузка 800-1000 кА.

Недостатками биполярных конструкций являются:

– сложность конструкции.  
– Коррозия оборудования из-за токов утечки.  
– При выходе из строя одной ячейки необходимо отключать весь электролизер, что приводит к резкому уменьшению производительности цеха.

– Необходимость мощных подъемных средств.

После изучения материал мною была выбрана монополярная конструкция электролизера с плоскопараллельными чередующимися электродами в силу простоты ее изготовления и достаточной для моих целей производительности. В качестве материала электродов выбрана нержавеющая сталь (нерастворимый электрод).

### **Источники**

1. Слетов П.А. Методы производства водорода. роль процесса парового риформинга в мировом получении водорода // Вестник магистратуры. 2022. №4-1 (127). С. 6-9.

2. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 6. С. 79-91.

3. Атрощенко В.И. и др. Курс технологии связанного азота. Под ред. чл.-корр. АН УССР Атрощенко В.И. Изд. 2-е, пер. и доп. Инд. 3-14-3.

4. Истомина Н.В., Сосновская Н.Г., Ковалюк Е.Н. Оборудование электрохимических производств. – Ангарск: АГТА, 2010 – 100 с.

5. Бабаев Рауф Камил Оглы, Алиев Солтан Аскерали Оглы Исследование кинетических закономерностей процесса получения водорода электролизом воды // Проблемы науки. 2018. №4 (28).

6. Оборудование электрохимических производств. Учебное пособие. Истомина Н.В., Сосновская Н.Г., Ковалюк Е.Н. Ангарская государственная техническая академия. – 2-е изд., перераб. – Ангарск: АГТА, 2010 – 100 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Л.Р. Хаматов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Р.Р. Вилданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

khamatov00@mail.ru

В данной работе рассмотрены основные проблемы систем теплоснабжения Российской Федерации. Проанализирована роль теплофикации в современной энергетике страны, методы регулирования тепловой нагрузки. Рассмотрено децентрализованное теплоснабжение как альтернатива устаревшим системам.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, регулирование тепловой нагрузки, теплофикация, энергообеспечение, пиковые источники тепла.

## RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY SYSTEMS

L.R. Khamatov

KSPEU, Kazan, Russia

khamatov00@mail.ru

In this paper, the main problems of heat supply systems in the Russian Federation are considered. The role of heating in the country's modern power industry, methods of regulating the heat load are analyzed. Considered decentralized heat supply as an alternative to outdated systems.

**Keywords:** heat supply, heat load regulation, district heating, energy supply, peak heat sources.

В современной энергетике Российской Федерации почти 75 % всех потребителей обеспечиваются тепловой энергией с помощью систем централизованного теплоснабжения. Следует отметить, что на долю теплофикации в потреблении тепловой энергии приходится 35 %. В частности, комбинированные теплоэнергетические системы снижают стоимость топлива для производства тепла и электроэнергии и в настоящее время считаются наиболее рациональным способом энергообеспечения в стране.

Хоть теплофикация и является высокоэффективной когенерацией тепла и электроэнергии, доля тепла, производимого с ее помощью, снижается. Разработанная в 1950-е годы прошлого столетия данная система комбинированной выработки энергии практически не изменяла свою структуру, состоящую из источника теплоты, тепловой сети и конечного потребителя.

В нашей стране используется метод качественного регулирования тепловой нагрузки, при которой температура теплоносителя изменяется в диапазоне от 70 °С до 150 °С в зависимости от температуры наружного воздуха. При этом расход теплоносителя остается неизменным.

Главным преимуществом такого регулирования является устойчивый гидравлический режим системы теплоснабжения, однако есть и ряд значимых минусов такого регулирования, такие как малая надежность пиковых источников тепла и необходимость в дорогостоящих способах управления подачей питательной воды в тепловую сеть. Это заставляет задуматься о переходе от качественного регулирования к количественному.

Исследования систем теплоснабжения в различных городах России показали, что большинство теплогенерирующих установок не доводят температуру сетевой воды до нормативных показателей. В связи с высоким уровнем физического износа тепловых сетей часто встречается такая проблема, как низкая температура теплоносителя после теплоисточника. Понижение температуры воды в тепловой сети особенно часто происходит зимой, когда большая часть тепловой энергии должна поставляться от пиковых источников тепла, которыми долгое время пренебрегали, что в свою очередь приводит к менее надежному и менее экономичному теплоснабжению.

Стоит также отметить, что качественное регулирование нагрузки при работе водогрейных котлов в периоды пиковой нагрузки с высокими температурами теплоносителя приводит к значительным потерям тепла в тепловых сетях и увеличивает затраты энергии на транспортировку теплоносителя [1].

Во многих городах эти условия привели к отказу от централизованного теплоснабжения в новых домах и развитию местных источников тепла: крышных или блочных котельных, индивидуальных котлов для отопления квартир. Не смотря на тот факт, что децентрализованные системы отопления не имеют термодинамическими преимуществами комбинированной выработки тепла и электроэнергии,

они уже сейчас экономически более привлекательны, чем централизованные системы теплоснабжения.

Существует убедительная необходимость модификации или коренного пересмотра концептуальных решений, используемых для выбора конструкции и технологий современных систем теплоснабжения. Эта необходимость обоснована, с одной стороны, принципиально меняющимися экономическими условиями, а с другой - зарубежным опытом, который свидетельствует об огромном потенциале совершенствования систем теплоснабжения [2-4].

Анализ состояния систем теплоснабжения нашей страны позволил сформулировать принципы, на основе которых должно формироваться повышение эффективности систем теплоснабжения:

1. Комбинирование централизованных и децентрализованных источников тепла.

2. Сдвиг в сторону низкотемпературного теплоснабжения с помощью количественных методов регулирования нагрузки.

3. Использование высокоэффективных теплоизоляционных материалов трубопроводов для минимизации потерь тепла в окружающую среду.

4. Рост экономической и энергетической эффективности источников тепла, включая пиковые источники тепла.

5. Повышение надежности и работоспособности систем теплоснабжения благодаря эксплуатационному резервированию источников тепла и усовершенствованию технологий борьбы с коррозией.

6. Создание возможностей местного регулирования у потребителей совместно с внедрением узлов учета тепловой энергии.

Проведенное исследование позволяет сделать выводы о том, что отечественные системы теплоснабжения работают по устаревшим методам когенерации. Также распространенной проблемой в современной энергетике Российской Федерации является «недогрев» сетевой воды. Следует отметить, что набирает популярность децентрализованное теплоснабжение за счет своей экономичности и удобства.

### **Источники**

1. Шарапов В.И., Ротов П.В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения. — М.: Изд-во «Новости теплоснабжения», 2007.

2. Шарапов В.И., Ротов П.В. О зарубежном опыте экономии топливно-энергетических ресурсов в системах теплоснабжения // Энергосбережение, № 1/1999.

3. Батенин В.М., Масленников В.М., Цой А.Д. О роли и месте децентрализованных источников энергоснабжения // Энергосбережение, № 1/2003.

4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Учеб. Изд. 6-е, перераб. — М.: Изд-во МЭИ, 1999.

УДК 621.182

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ДО 1 МВт**

Б.Р. Хисамиев

Науч. рук. доктор. техн. наук, доцент Зиганшин М.Г.

ФГБОУ «КГЭУ», г.Казань, Россия

bulathis24@gmail.com

В статье рассматриваются основные конструктивные решения конденсационных котлов производительностью до 1 МВт, их основные характеристики, преимущества и недостатки, приводятся примеры их применения, а также разбираются вопросы эффективности и экономичности использования данных конструктивных решений в климатических зонах России.

**Ключевые слова:** конденсационный котел, теплообменник, горелка, система очистки конденсата, система отопления, точка росы.

## **CONSTRUCTION SOLUTIONS FOR CONDENSING BOILERS WITH CAPACITY UP TO 1 MW**

B.R. Khisamiev

KSPEU, Kazan, Russia

bulathis24@gmail.com

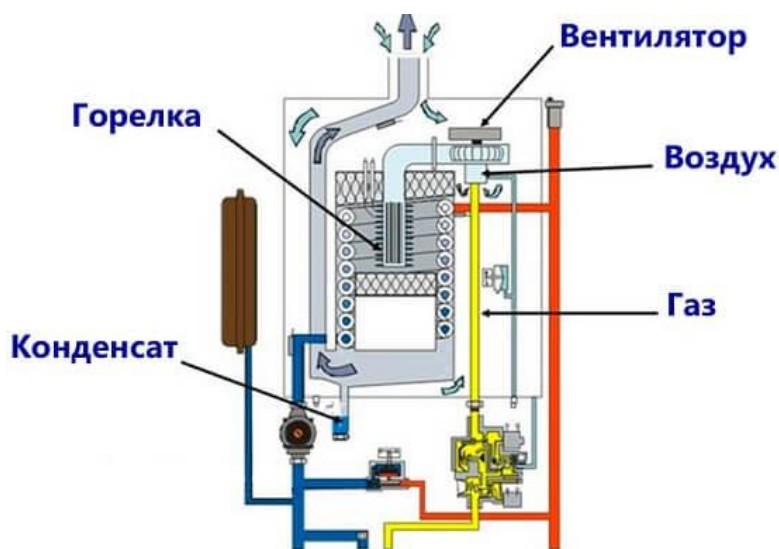
The article discusses the main design solutions for condensing boilers with a capacity of up to 1 MW, their main characteristics, advantages and disadvantages, gives examples of their application, and also examines the issues of efficiency and cost-effectiveness of using these design solutions in the climatic zones of Russia.

**Keywords:** condensing boiler, heat exchanger, burner, condensate treatment system, heating system, dew point.



Конденсационные котлы, в отличие от обычных, используют тепло, которое выделяется при конденсации водяного пара, образующегося при сгорании топлива. Это позволяет несколько повысить эффективность использования топлива и в ряде случаев снизить экономические затраты на отопление и горячее водоснабжение.

Конструкция конденсационного котла содержит два теплообменника, камеру сгорания, систему приготовления газозвушной смеси, циркуляционный насос, вентилятор для удаления дымовых газов и емкость для сбора конденсата. Одним из конструктивных усложнений у подобных котлов является конденсационный теплообменник. Для увеличения температуры конденсата и снижения температуры уходящих газов второй теплообменник устанавливают на обратный контур системы отопления, используют внутренние полости с различными сечениями, а также увеличивают площадь отбора температуры путем установки ребер в виде спирали. Указанные конструктивные особенности конденсационных котлов представлены на рисунке.



Конденсационный котел со спиральным теплообменником

В камере сгорания за счет интенсивного теплообмена охлаждение продуктов горения доводится почти до точки росы. Далее дымовые газы попадают в конденсационный теплообменник, где охлаждаются ниже точки росы. Водяной пар конденсируется на теплообменных поверхностях, интенсивно передавая энергию теплоты парообразования нагреваемой воде, которая проходит через оба теплообменных аппарата. Температура дымовых газов на выходе из конденсационного котла составляет 70°C,

тогда как в конвекционных котлах она поддерживается в пределах 120°C – 140 °C [1].

При этом для полноценной конденсации температура воды в обратной линии должна поддерживаться не выше 30 °C. В случае увеличения температуры обратной воды до 50°C прирост КПД по сравнению с обычными котлами становится менее 5%, и при ее дальнейшем повышении коэффициент КПД нивелируется [1, 4].

Экономически наиболее выгодным конструктивным решением по внедрению котельных с конденсационными котлами установок может стать их использование как теплоисточников для теплых полов [2] и других низкотемпературных отопительных систем. Установка электронных регуляторов температуры при этом позволит обеспечить надежность работы конденсационного котла [3]. При работе котла в суровых климатических условиях в отопительный период конденсационный режим не применяется, поскольку требуемая температура теплообменных поверхностей превосходит точку росы, составляющую обычно 52-55°C [4]. Кроме того, при температуре окружающей среды ниже -10 °C возможно обледенение дымовых труб и дымоходов.

В летний период времени возможно применение конденсационных котлов в качестве водоподогревателей для систем горячего водоснабжения.

Таким образом, конденсационные котлы производительностью до 1 МВт могут служить экономичным решением для обеспечения тепловой энергией отдельных жилых домов, небольших предприятий или офисов в теплой климатической зоне РФ. Однако перед их выбором необходимо тщательно изучить все характеристики и учитывать потребности конкретного объекта, чтобы обеспечить наиболее оптимальную работу системы отопления.

### **Источники**

1. Саенко, А. В. Анализ текущего состояния использования конденсационных котлов в малоэтажных жилых зданиях / А. В. Саенко // Трибуна ученого. – 2020. – № 7. – С. 85-90.
2. Сахаров, В. И. Конденсационные котлы в российских условиях: учитываем плюсы и минусы / В. И. Сахаров // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2014. – № 5(149). – С. 42-44.

3. Хаванов, П. А. Оценка влияния климатических условий эксплуатации на работу автономных комбинированных конденсационных котлов / П. А. Хаванов, А. С. Чуленев // Научное обозрение. – 2016. – № 1. – С. 13-17.

4. Шаймарданова, А. И. Особенности эффективной работы конденсационных двухконтурных газовых настенных котлов / А. И. Шаймарданова, М. Г. Зиганшин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Посвящена 165-летию В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 714-719.

УДК 620.92

## **ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА**

Д.С. Цыкунов

Науч. рук., асс. О.Е. Бабилов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
danil.tsygunov@gmail.com

Ядерная энергетика ставилась под сомнение почти с момента ее зарождения, и одним из основных вопросов, касающихся ее социальной приемлемости во всем мире, является обращение с ядерными отходами. В последние годы эти проблемы привели к росту общественного неприятия в некоторых странах, и, в результате, ядерная энергетика столкнулась с еще большим количеством проблем. Однако непрерывные усилия в области исследования и разработок приводят к появлению новых технологий обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ), которые могут решить проблемы защиты окружающей среды и обеспечения устойчивости ядерной энергетики. Переработка и утилизация ОЯТ могла бы стать одним из ключевых моментов для повышения социальной приемлемости ядерной энергетики. Целью работы является обзор современных технологий обращения с ядерными отходами.

**Ключевые слова:** ядерная энергетика, отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), переработка, повторное использование.

# TECHNOLOGIES FOR THE RECYCLING OF SPENT NUCLEAR FUEL

D.S. Tsykunov  
KSPEU, Kazan, Russia  
danil.tsykunov@gmail.com

Nuclear power has been questioned almost since its beginnings and one of the major issues concerning its social acceptability around the world is nuclear waste management. In recent years, these issues have led to a rise in public opposition in some countries and, thus, nuclear energy has been facing even more challenges. However, continuous efforts in R&D (research and development) are resulting in new spent nuclear fuel (SNF) management technologies that might be the pathway towards helping the environment and the sustainability of nuclear energy. Thus, reprocessing and recycling of SNF could be one of the key points to improve the social acceptability of nuclear energy. The purpose of our work is to review the state of the nuclear waste management technologies.

**Keywords:** nuclear energy, spent nuclear fuel (SNF), reprocessing, recycling.

Ядерная энергетика занимает важную роль в энергетическом балансе многих мировых держав. Несмотря на множество технологических преимуществ выработки тепловой и электрической энергии на атомных электрических станциях (АЭС), страх перед атомной энергетикой существовал всегда, и в течение последних двух десятилетий во всем мире идет общая дискуссия о будущем ядерной энергетике. Споры о безопасности использования ядерной энергии в мирных целях обострились после печально известных аварий на Чернобыльской АЭС в 1986 г. и на АЭС Фукусима-1 в 2011 г., а также в связи с появлением и повсеместным внедрением генерации, основанной на возобновляемых источниках энергии. Некоторые страны после данных инцидентов поставили под сомнение преимущество атомных электростанций (АЭС) в своем энергетическом балансе. Но есть другие страны, как, например, Китай, который планирует увеличить установленную мощность своих АЭС до 4% (40 ГВт) в 2020 г. и до 20% в 2050 г [1].

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) на 96-97% состоит из материалов, пригодных для вторичной переработки, что означает, что оно все еще содержит большую часть своего энергетического потенциала. Целью переработки является химическое разделение компонентов ОЯТ, чтобы полностью использовать его потенциал. В настоящее время уран (U) и плутоний (Pu) успешно извлекаются из ОЯТ, но будущие тенденции приведут также к разделению продуктов деления (ПД) и младших

актининов (МА) с целью их сжигания в современных реакторах или хранения отдельно.

На протяжении многих лет страны, в которых эксплуатируются АЭС, перерабатывали свое ОЯТ, но на сегодняшний день есть лишь несколько стран, которые построили свои собственные объекты по переработке: Россия, Индия, Франция и Великобритания [2,3]. Переработку ОЯТ можно осуществлять несколькими способами, часть из которых будет представлена далее.

PUREX (Plutonium uranium recovery by extraction) – единственная существующая зрелая технология, которая доступна для использования. Процесс начинается с растворения ОЯТ в  $\text{HNO}_3$ , а затем его подвергают процессу экстракции растворителем с использованием трибутилфосфата, при котором уран и плутоний отделяются на 99,9% и затем очищаются. МА и ПД остаются в растворе кислоты, закрепляются в стеклянной матрице и упаковываются в универсальный контейнер. После, уран и плутоний, извлеченные из ОЯТ, могут быть переработаны в свежее ядерное топливо, называемое МОКС-топливом (Mixed-Oxide fuel).

В последние годы было исследовано несколько модификаций технологии PUREX для улучшения ее производительности. Например, в Японии осаждают плутоний и уран, чтобы избежать выделения чистого плутония и последующего его распада.

Pu-239 и Pu-241 являются делящимися изотопами, поэтому их можно использовать в качестве топлива в тепловом реакторе вместо U-235. Таким образом, МОКС состоит примерно от 3-5% до 5-8% экстрагированного плутония и урана, который может быть либо низкообогащенным ураном, обедненным ураном с обогатительных фабрик, либо даже отделенным ураном.

МОКС является зрелой технологией и используется примерно в 10% мировых реакторов (40 АЭС), но в основном его используют во Франции. Его основной целью является сокращение потребностей в природном уране, использование которого в современных технологиях сократится примерно с 8-12% до 20-25%. Более того, сократятся запасы чистого плутония и риски его распространения. Однако из-за технологических ограничений отработанный МОКС может быть переработан только один или два раза. Тем не менее, передовые технологии могут позволить использовать отработанный МОКС и, следовательно, обеспечить безопасное хранение плутония.

Отделенный уран может быть переработан в переработанный оксид урана (REPUOX) после повторного обогащения, что используется в ограниченных масштабах по всему миру, поскольку переработанный уран более радиоактивен, чем природный уран, и, таким образом, для предотвращения загрязнения природным ураном требуются специальные установки.

### Источники

1. Rodríguez-Penalonga L., Moratilla Soria B. Y. A review of the nuclear fuel cycle strategies and the spent nuclear fuel management technologies. *Energies*. Vol. 10 (8), p. 1235, 2017.
2. Silverio, L.B.; de Lamas, W.Q. An analysis of development and research on spent nuclear fuel reprocessing. *Energy Policy* 2011, 39, 281-289.
3. Ramana, M.V.; Suchitra, J.Y. Costing plutonium: Economics of reprocessing in India. *Int. J. Glob. Energy Issues* 2007, 27, 454-471.

УДК 621.311.182

## ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОПОРШНЕВОГО АГРЕГАТА ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

А.С. Черкасов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.И. Ляпин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан  
Sanekpuer@mail.ru

В работе предложена идея использования газопоршневого агрегата для уменьшения потребления собственных нужд тепловых электрических станций. Приведены результаты технико-экономического расчета на примере Казанской ТЭЦ-1.

**Ключевые слова:** тепловая электрическая станция, газопоршневой агрегат, собственные нужды, энергоэффективность, электрическая и тепловая энергия, оптовый рынок электроэнергии и мощности.

## APPLICATION OF A GAS PISTON UNIT TO REDUCE THE CONSUMPTION OF OWN NEEDS OF THERMAL POWER PLANTS

A.S. Cherkasov

KSPEU, Kazan, Russia  
Sanekpuer@mail.ru

The paper proposes the idea of using a gas piston unit to reduce the consumption of own needs of thermal power plants. The results of a feasibility study are given on the example of Kazan CHPP-1.

**Keywords:** thermal power plant, gas piston unit, own needs, energy efficiency, electrical and thermal energy, wholesale electricity and capacity market.

Тепловая электроцентраль является промышленным предприятием, осуществляющим производство тепловой и электрической энергии. Прибыль такого предприятия складывается из продажи тепловой энергии в виде отпускаемого теплоносителя определенных параметров (вода или пар), электрической энергии и электрической мощности [1]. Само функционирование ТЭЦ подразумевает потребление определенного количества электрической энергии для привода насосов, тягодутьевых машин, освещения, функционирования систем АСУТП и т.д. [2]. Структура оптового рынка электрической энергии и мощности Российской Федерации устроена таким образом, что генерирующие объекты единой энергетической системы сами являются потребителями электрической энергии, а значит покупают её на рынке, несмотря на то, что сами являются ее производителями. Исходя из этого сокращение потребления собственных нужд приводит к уменьшению финансовых затрат станции, а также приводит к улучшению ее экономической и энергетической эффективности [3].

Необходимо отметить, что выбор того или иного источника питания собственных нужд и обоснование их внедрения зависит от особенностей функционирования конкретной электростанции, её технологической схемы и эксплуатируемого оборудования. Также, при выборе оборудования, необходимо учитывать риски, связанные с ограничением возможности применения зарубежного оборудования в условиях экономических санкций. В качестве примера можно провести анализ экономического эффекта от внедрения газопоршневого агрегата (ГПА) на Казанской ТЭЦ-1. При рассмотрении данной электростанции необходимо также учитывать, что в ее составе функционирует парогазовая установка, построенная по программе «Договор поставки мощности» (ДПМ), в связи с чем её мощность продаётся на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ) по завышенной цене. В связи с этим уменьшение затрат на собственные нужды в данном случае будет означать еще более весомый финансовый эффект. Газопоршневой агрегат представляет собой комплектный, компактный, автономный и эффективный генерирующий объект по выработке электрической и тепловой энергии [4]. Он работает на базе газопоршневого двигателя внутреннего сгорания и генератора переменного тока. В качестве топлива используется природный газ. Если рассмотреть процесс более детально, то он будет выглядеть следующим образом: топливо в виде газа необходимых параметров поступает на газопоршневой двигатель. В процессе сжигания топлива и образования продуктов сгорания при помощи поршней получается механическая энергия, которая передается через единый вал на генератор, где преобразуется в электрическую энергию стандартных параметров

качества. Во время работы установки высвобождается большое количество тепла (рубашка охлаждения двигателя, отработавшие дымовые газы, нагретое масло), которое снимается с помощью теплообменников и котлов-утилизаторов (система утилизации попутного тепла). Вырабатываемая тепловая энергия подается в существующую тепловую сеть предприятия. Таким образом, кроме электрической энергии ГПА вырабатывает и тепловую энергию, за счёт чего, хоть и незначительно, можно снизить расход топлива на выработку теплоты.

Исходя из проведенного технико-экономического расчета для варианта с установкой ГПА мощностью 2,5 МВт стоимость реализации данного проекта составит 185,34 млн. рублей, из которых из которых 111,204 млн. пойдет на закупку оборудования, 12,97 млн. на проектно-изыскательные работы, 55,6 млн. на строительные-монтажные работы и 5,56 млн. на прочие затраты. Ежегодная прибыль составит 19,93 млн., а срок окупаемости без учета дисконтирования 9,3 года.

Данный проект обладает следующими преимуществами:

- Простота эксплуатации ГПА;
- Приемлемый для энергетической отрасли срок окупаемости [5];
- Выработка ГПА и тепловой и электрической энергии;

По итогам проведенного анализа можно сделать вывод, что установка газопоршневого агрегата собственных нужд, при учете технологических особенностей конкретной ТЭЦ, является эффективным мероприятием, позволяющим повысить энергетические и финансовые показатели генерирующего объекта.

### **Источники**

1. Буров В. Д., Дорохов Е. В., Елизаров Д. П., Жидких В. Ф., Ильин Е. Т., Лавыгин В.М., Седлов А.С., Цанев С.В. Тепловые электрические станции учебник для вузов М.: Издательский дом МЭИ 2009. — 466 с.

2. А.Н. Козлов, В.А. Козлов, А.Г. Ротачева Собственные нужды тепловых, атомных и гидравлических станций и подстанций: учебное пособие / Изд. 2-е, испр. и доп. – Благовещенск, Изд-во АмГУ, 2013. – 315 с.

3. Организация работы электроэнергетических систем на рынке электроэнергии: учебное пособие / Б.К. Максимов, В.В. Молодюк. — М.: Издательство МЭИ, 2016. — 56 с.

4. Гольдинер А.Я., Цыпкин М.И., Бондаренко В.В. Газопоршневые электроагрегаты. СПб.: Галлея Принт, 2006. —240 с.

5. Стоимостные модели в контроллинге устойчивого развития электроэнергетических компаний и кластеров Колибаба В.И., Морозова А.А. – Текст : электронный // Вестник КГЭУ. – 2022. - № 2 (54). – С. 106-



119. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48618957> (дата обращения: 12.02.2023).

УДК 621.438

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ТУРБИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ

А.С. Черкасов<sup>1</sup>, А.И. Ляпин<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р. хим. наук, проф. Н.Д. Чичирова

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан

Sanekpuer@mail.ru<sup>1</sup>, lyapin81@mail.ru<sup>2</sup>

Работа посвящена вопросам развития газотурбинных технологий малой мощности, возможности и перспектив их применения в различных областях экономики и промышленности. Материалы доклада содержат обзор газотурбинных установок малой мощности и микротурбин, применяемых в объектах энергетики, различных отраслей промышленности и в сфере ЖКХ, приводятся особенности их функционирования, анализ обеспечения высокой эффективности эксплуатации и производства энергии. Рассмотрены технологические условия работы газовых турбин в составе комбинированных энергоустановок с топливными элементами.

**Ключевые слова:** газовые турбины малой мощности, мини-ТЭЦ, децентрализованное энергоснабжение, газовые микротурбины.

## PROMISING DIRECTIONS FOR THE APPLICATION OF LOW- POWER GAS TURBINES

A.S. Cherkasov, A.I. Lyapin

KSPEU, Kazan, Russia

Sanekpuer@mail.ru, lyapin81@mail.ru

The work is devoted to the development of low-power gas turbine technologies, the possibility and prospects of their application in various areas of the economy and industry. The materials of the report contain an overview of low-power gas turbines and microturbines used in energy facilities, various industries and in the housing and communal services sector, features of their operation, analysis of ensuring high efficiency of operation and energy production are given. The technological conditions for the operation of gas turbines as part of combined power plants with fuel cells are considered.

**Keywords:** gas turbines of low power, mini-CHP, decentralized energy supply, gas microturbines.

В настоящее время перспективным и активно развивающимся направлением в энергетике является производство и внедрение газовых турбин малой мощности. Само понятие «малая мощность» не имеет закрепленного какими-либо стандартами или иными нормативно-техническими документами значения и, как следствие, может иметь различную трактовку в зависимости от источника. В данном случае подразумевают газотурбинный установки (ГТУ) номинальной электрической мощностью меньше 10 МВт. Сегодня весомую долю рынка микротурбин занимает продукция таких зарубежных производителей, как: Siemens, Capstone, Rolls-Royce, MAN, Ener Twin, Flex Energy, Turbec и др. Данные агрегаты обладают высокой надежностью, широким диапазоном мощностей и областей применения. В Российской Федерации тоже имеется производство ГТУ малой мощности. Многие из них созданы на базе авиационных двигателей. Так среди отечественных производителей можно назвать: УТЗ, ОДК «Сатурн», ОДК «Авиадвигатель», УМПО, ОДК-Кузнецов, Калужский двигатель.

Общая концепция применения малых ГТУ заключается в децентрализации электро- и теплоснабжения определенных потребителей. Несмотря на то, что в целом централизованная комбинированная выработка электрической и тепловой энергии на крупных ТЭЦ обеспечивает более высокие экономические и энергетические показатели, существуют ситуации, в которых децентрализованное энергоснабжения оказывается для потребителя более выгодным, либо единственно возможным вариантом. Так, например, для небольших отдаленных населенных пунктов в Сибири и на Дальнем Востоке может быть экономически обоснованным строительство мини-ТЭЦ не подключенных к единой энергосистеме [1, 2].

Для промышленных предприятий применение газовых турбин малой мощности позволяет иметь дополнительный аварийный резервный источник питания [3]. Эффективным источником энергии микротурбины так же могут служить для частных сельскохозяйственных комплексов. В том числе разрабатываются схемы применения в качестве топлива для газовых турбин биогаза, получаемого из отходов деятельности данных предприятий [4]. Еще одним вариантом применения ГТУ малой мощности являются газоперекачивающие агрегаты на газовых месторождениях. Поскольку большинство месторождений природного газа находится далеко от населенных пунктов в достаточно суровых природных условиях эффективным является обеспечение привода газоперекачивающих агрегатов напрямую газовой турбиной, а не электродвигателем.

Учитывая быстрые темпы строительства и расположение новых жилых районов во многих крупных городах России, применение малых газовых турбин для обеспечения теплом и электрической энергией отдельных жилых комплексов может быть более выгодным и эффективным способом энергоснабжения. Так, во-первых, обеспечивается более быстрый ввод в эксплуатацию объекта, по сравнению со строительством крупной ТЭЦ. А во-вторых появляется возможность более тонкого регулирования температуры в жилых помещениях в зависимости от потребностей жильцов.

Перспективным является развитие комбинированных энергетических установок на основе газовых микротурбин и химических топливных элементов. В такой установке продукты работы топливного элемента нагревают сжатый воздух в микрогазотурбинном рекуператоре, при этом предварительный нагрев анодного и катодного газов осуществляется при помощи теплоты уходящих газов газовой турбины и тепла, выделяемого при сгорании остаточного топлива, содержащегося в выхлопных газах топливного элемента. Существуют различные схемы комбинированного цикла для газовых турбин, каждая из которых имеет как свои преимущества, так и свои недостатки, а значит и свою область применения. В Казанском Государственном Энергетическом Университете ведутся научные изыскания в данном направлении. Был произведен анализ возможных схем подключения газовой микротурбины и твердооксидного топливного элемента [5]. В дальнейшем планируется создание экспериментальной установки, для которой уже приобретена газовая турбина Capstone C65 электрической мощностью 65 кВт.

Таким образом, газовые турбины малой мощности имеют широкий спектр возможных применений, а включение их в комбинированную энергоустановку является перспективным направлением исследований, так как позволит расширить сферу применения газовых микротурбин и увеличить их эффективность.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки «Изучение процессов в гибридной энергетической установке топливный элемент-газовая турбина» (шифр проекта: FZSW 2022–0001)

## Источники

1. В.А. Петрущенко, И.А. Коршакова Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России В.А. Петрущенко, И.А. Коршакова, Проблемы энергетики, 2020, том 22, № 5, 52-70.

2. Чурашев В. Н. Каким быть энергообеспечению Новосибирской области? Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сб. материалов в 3 т. Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г. Т. 3. 60–65

3. А.П. Белкин, А.В. Дубова Выбор технологии децентрализованного энергоснабжения предприятий тюменской области, «Инновационные технологии устойчивого развития», 2015, Выпуск 4, 46-53

4. А.С. Матрунчик Потенциал использования биоэнергетики на животноводческих фермах России, «Вопросы современной науки и практики» УНИВЕРСИТЕТ им. В.И. ВЕРНАДСКОГО, 2015, №2(56), 22-27

5. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Печенкин А.В. Обзор проектных схем гибридных систем с твердооксидным топливным элементом и газовой турбиной для комбинированного производства тепла и электроэнергии. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 15. № 7

УДК 621.352

## ВОДОРОДНЫЕ АЗС

Г. В. Чикунов

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент Гайнутдинова Д.Ф.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

chikunov97@bk.ru

В статье рассмотрены возможности водородных автозаправочных станций в современных условиях декарбонизации общества.

**Ключевые слова:** водородное топливо, водородный автозаправочные станции, водородная стратегия.

## HYDROGEN GAS STATIONS

G.V. Chikunov  
KSPEU, Kazan, Russia  
chikunov97@bk.ru

The article considers the possibilities of hydrogen gas stations in modern conditions of decarburization of society.

**Keywords:** hydrogen fuel, hydrogen gas stations, hydrogen strategy.

Водород показывает высокую эффективность в качестве топлива с нулевым уровнем выбросов, особенно для транспорта, имеющего установленные маршруты. В нашей стране транспорт на водороде находится в стадии разработки. Перспектива развития экологического транспорта тесно связана с наличием инфраструктуры водородных автозаправок (ВАЗС), разработкой стандартов транспортировки, хранения  $H_2$ , а в будущем станет проблема заправки водородных автомобилей при их массовой продаже [1].

Проекты заправок для разных условий применения имеют разные решения. Домашние заправочные станции (бытовые установки) производят путем электролиза 200 – 1000 кг водорода в год, это достаточно для заправки 1-5 автомобилей в сутки. Стационарные ВАЗС бывают малые – до 20 кг водорода в день (заправка десяти легковых автомобилей в день); средние до 50-1250 кг водорода в день (250 легковых автомобилей или до 25 автобусов в день); промышленные – 2500 кг водорода в день (и более) (500 легковых автомобилей или до 50 автобусов в день).

В мире водородных заправок насчитывается не более 600, тогда как количество бензиновых АЗС постоянно растет, например, в России их насчитывается около 45000, а водородных всего одна в г. Черноголовка Московской области. Водородная АЗС при производстве топлива на месте состоит из риформера, или электролизера; адсорберов для очистки водорода; устройств хранения водорода; компрессора (для газообразного водорода); диспенсера для подачи водорода в заправляемый транспорт.

Собираются мобильные (для военной техники), стационарные (располагаются рядом с производством топлива); домашние водородные заправочные станции. ВАЗС безопаснее, этому способствует легкость водорода [2].

Современные автомобили способны на быструю заправку  $H_2$  в течение 2-3 мин, водородные трамваи –15 мин, при этом топлива хватает на 40 км. Время заправки в принципе сопоставимо с заправкой бензинового транспорта. Топливо на ВАЗС либо доставляется (таких установок больше), либо производится на месте и продается в кг. Потребление водорода – 1 кг на пробег 100 км, в год требуется 200 кг водорода, или 0,55 кг в день [3].

Экономически выгодным может быть вариант размещения АЗС рядом с производством дешевого водорода, например, конвертацией биомассы образующейся в результате жизнедеятельности человека в топливо или рядом с химическим производством. Известны проекты АЗС заправки водородом с другими возобновляемыми источниками рис. 1.



Рис. 1 Схема заправочной станции на основе возобновляемых источников энергии:

1 – фотоэлектрический преобразователь; 2 – ветрогенератор; 3 – устройство стабилизации; 4 – аккумуляторные батареи; 5 – электролизер; 6 – система хранения водорода; 7 – водородный терминал; 8 – топливные элементы

Применяются фотоэлектрические генераторы энергии для электролиза водорода, проведены расчеты площади солнечных батарей, необходимой для питания ВАЗС, построенной на базе электролиза водорода [4].

Многие авторы предлагают создать сеть водородных заправок рядом с газопроводом, так как получение водорода из метана имеет большие мощности.

Повсеместное использование водородных автомобилей станет реальностью только с развернутой сетью водородных АЗС и это реальное будущее в российских городах с населением более миллиона человек. В каких городах появятся первые сто водородные АЗС станет известно совсем скоро, а именно в 2025 г.

## Источники

1. Водородная энергетика : учебник / Н. В. Кулешов, С. К. Попов, С. В. Захаров [и др.]. — Москва : НИУ МЭИ, 2021. — 548 с. 4. Фатеев, В. Н. Разработки и исследования водородных энергетических систем в Национальном Исследовательском Центре «Курчатовский институт» / В. Н. Фатеев, В. И. Порембский, С. И. Григорьев, И. Е. Баранов и др. // ИЗВУЗ. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 128–148.
2. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Разакова Р.И. Электрохимические технологии для автомобилей на водородном топливе. Известия высших учебных заведений. Проблемы Энергетики. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 104-115.
3. Гайнутдинова, Д. Ф. Водородная безопасность АЭС / Д. Ф. Гайнутдинова, Ф. Р. Гайнутдинов // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов : Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Москва, 22 февраля 2022 года / Редколлегия: Л.К. Гуриева [и др.]. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ИРОК", ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2022. – С. 156-158
4. Кушнерева, Ю. И. Автозаправочные станции и водородная энергетика / Ю. И. Кушнерева, Д. А. Вырыханов // Актуальные проблемы энергетики АПК : материалы VII международной научно-практической конференции, Саратов, 18 апреля 2016 года / Под общей редакцией Трушкина В.А.. – Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2016. – С. 117-120.

УДК 621.31

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС В СЛУЧАЕ АВАРИИ ЗА СЧЕТ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАВШИХ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК

Я.О. Шайхутдинов<sup>1</sup>, А.И. Минибаев<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент Грибков А.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>jara2105@mail.ru

В предлагаемой к ознакомлению статье рассматриваются возможные способы использования остаточного энерговыделения отработавших топливных сборок ядерного реактора для повышения безопасности в случае возникновения аварийных или нештатных ситуаций на атомной электростанции.

**Ключевые слова:** отработавшее ядерное топливо, остаточное энерговыделение, бассейн выдержки, атомные электростанции.

## INCREASING THE SAFETY OF NPP IN THE EVENT OF ACCIDENTS DUE TO THE ENERGY OF SPENT FUEL ASSEMBLY

Y.O. Shaikhutdinov<sup>1</sup>, A.I. Minibaev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>jara2105@mail.ru

This article discusses possible ways to use the residual energy release of spent fuel assemblies of a nuclear reactor to improve safety in the event of accidents or abnormal situations at a nuclear power plant.

**Keywords:** spent nuclear fuel, residual energy release, fuel pool, nuclear power plants.

В настоящее время безопасности атомных электростанций (АЭС) все еще могут угрожать природные факторы и катастрофы. Доказательством тому является авария на АЭС Фукусима-1, одним из последствий которой является отказ насосов, перекачивающих охлаждающую воду в бассейне выдержки, из-за перебоев в электроснабжении. В предлагаемом анализе представлены некоторые из способов повышения безопасности бассейнов выдержки в частности и АЭС в целом в случае возникновения аварийных или нештатных ситуаций, связанных с перебоями в системе электроснабжения станции.

Наиболее простым, на мой взгляд, является применение термоэлектрических модулей [1], за счет которых будет происходить прямое преобразование тепловой энергии отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) в электрическую для питания электронасосов, перекачивающих охлаждающую воду в бассейне выдержки [2]. При этом следует учитывать, что термоэлектрические модули (ТМ) должны иметь верхний температурный порог хотя бы в 300 °С [3] и нижний хотя бы 50 °С (меньше – лучше) [4]. В качестве такого модуля предлагается использовать ТЕР1-142Т300 [5].

Еще одним способом повышения безопасности можно считать использование погружных теплообменников в объеме бассейна выдержки [6]. При этом через теплообменник будет прокачиваться охлаждающая жидкость, а самих т/о может быть несколько для обеспечения их параллельной работы и более эффективного охлаждения бассейна в случае аварии. Перекачивающие насосы при этом могут иметь собственный источник питания или получать энергию от ТМ аналогично приведенному выше способу.

Наиболее сложным способом является использование разогретых при аварии ОТВС в качестве парогенераторов [7]. При этом получаемая



энергия может направляться как на перекачивающие насосы для поддержания определенной температуры в бассейне на период ликвидации аварии, так и для питания других узлов станции.

### **Источники**

1. Патент США US № 2013/0028365A1.
2. Шайхутдинов, Я. О. Варианты более эффективного использования остаточной энергии отработавших тепловыделяющих сборок АЭС / Я. О. Шайхутдинов, Д. А. Макуева, А. И. Минибаев // Умаровские чтения-2021: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Грозный, 11 октября 2021 года. – Махачкала: ЧГПУ.
3. Патент РФ №2014115738/02, 18.04.2014.
4. Андрущенко, С.А. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С.А. Андрущенко, А.М. Афров, Б.Ю. Васильев, В.Н. Генералов, К.Б. Косоуров, Ю.М. Семченков, В.Ф. Украинцев. – М.: Логос, 2010. – 171 с. – ISBN 978-5-98704-496-4.
5. TEP1-142T300 Power Generation 300 Degree high Temperature Thermoelectric Peltier Module [Электронный ресурс] // REES52: [сайт]. [2022]. URL: <https://rees52.com/hardware/3695-tep1-142t300-power-generation-300-degree-high-temperature-thermoelectric-peltier-module-rs1501>
6. Патент США US № 2012/0250813 A1.
7. Патент США US № 2012/0250813 A1.

УДК 621.548

## **ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

М.А. Шакиров

Науч. рук. асс. Бабинов О.Е.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Н

В данной работе рассмотрены проблемы эксплуатации ветровых электростанций, связанные с обледенением лопастей и ветрогенератора в целом. Обледенение негативно сказывается на выработке электроэнергии, надежности и сроке службы ветрогенераторов. Приведены актуальные методы обнаружения наличия обледенения, позволяющие своевременно выявлять и бороться с данным нежелательным явлением.

И

**Ключевые слова:** ветровая электростанция, обледенение, ветрогенераторы.

280

"

m

## WIND POWER PLANTS OPERATION CHALLENGES

M.A. Shakirov  
KSPEU, Kazan, Russia  
shakirov.ma@bk.ru

This work is devoted to the problems of using wind power plants due to icing. The icing of turbines affects the generation of electricity and reduces the duration of their work. Various methods of icing detection are used for detection, which are presented in the article.

**Keywords:** wind power plant, blades icing, wind turbines.

В связи с развитием мировой экономики и ростом населения планеты увеличивается потребление электроэнергии, что в свою очередь порождает потребность в большем ее производстве. Но в то же время остро стоит вопрос снижения выбросов углекислого газа в атмосферу и снижения техногенного влияния производств на окружающую среду, поэтому использование возобновляемых источников энергии, а в частности энергии ветра, позволяет решить эту проблему. Ветроэнергетика продолжает развиваться и объем выработки электроэнергии, получаемой на ветровых электростанциях (ВЭС) с каждым годом лишь растет. В перспективе ветровая энергетика может внести большой вклад в удовлетворение растущих потребностей в электроэнергии. Но несмотря на множество преимуществ, ВЭС обладают серьезными недостатками и проблемами в процессе эксплуатации, одной из которых является обледенение.

Стоит отметить, что ВЭС устанавливаются не только в странах с теплым климатом, а высокая плотность воздуха способствует развитию ветроэнергетики в холодных регионах и на данный момент существуют проекты ветроэнергетических установок даже для арктических климатических [1] зон что непременно связано с обледенением лопастей, приводящим к недовыработке электроэнергии вплоть до 30% [2].

Обледенение турбины изменяет аэродинамические характеристики, влияя на шероховатость поверхности лопасти. Также увеличивается масса лопасти, что в свою очередь повышает нагрузку на турбину. Наросты льда приводят к неоднородности распределения массы лопасти, что приводит к повреждению турбин из-за повышенной вибрации. Низкие температуры усугубляют положение и приводят к выходу из строя компонентов турбины вследствие увеличения трения между ними, что приводит к значительному сокращению срока службы ветроэнергетических установок. К

отрицательным последствиям также относят возникновение конденсата на электронных компонентах управления.

Данные проблемы показывают, что обледенение является одним из важных факторов, влияющих на работу ветроэнергетических установок. Следовательно, развитие технологий защиты от обледенения, обнаружения льда и очистки лопастей являются актуальными и важными задачами, позволяющими добиться повышения надежности и производительности ветровой турбины. Технологии обнаружения обледенения принято делить на два вида: прямые и косвенные.

При использовании прямого метода обнаружения обледенения обычно измеряются физические свойства льда. К таким методам можно отнести ультразвуковое демпфирование, измерение резонансной частоты, измерение ёмкости поверхности лопасти ВЭС [2].

Принцип действия ультразвукового демпфирования заключается в том, что на концах лопасти устанавливаются акустические приборы, которые создают и принимают ультразвуковой сигнал. Изменение принимаемого сигнала указывает на наличие обледенения. Данный метод позволяет обнаружить лед толщиной более 1 мм на конце и более 4 мм в средней части лопасти [2]. К преимуществам данного метода относится высокая точность, небольшие затраты электроэнергии на осуществление процесса, отсутствие негативного влияния на аэродинамику лопасти. Но данный метод не нашел широкого практического применения на действующих ВЭС.

Другим способом обнаружения обледенения является измерение резонансной частоты. Если на лопасти образуется лёд, то частота вибрации будет уменьшаться из-за увеличения массы. Однако данный метод не позволяет точно определить конкретное расположение льда на лопасти и имеется большая погрешность измерений, связанная с аэродинамическими особенностями работы ВЭС.

Обледенение также можно обнаружить с помощью измерения электрической емкости лопасти. Разница в относительной диэлектрической проницаемости между льдом и водой приводит к изменению распределения зарядов по лопасти. Данным методом можно контролировать обледенение только в непосредственной близости от лопасти. Также приборы контроля могут повлиять на аэродинамические характеристики лопастей.

К косвенным методам обнаружения можно отнести измерение выходной мощности ВЭС, применение двойного анемометра, измерение уровня шума ВЭС, контроль точки росы и другие [2].

При использовании метода контроля выходной мощности предполагается, что обледенение уменьшает фактическую мощность ветровой турбины при нормальной работе. Когда измеряемая мощность оказывается ниже ожидаемой при тех же параметрах ветра, можно сделать вывод, что на лопасти присутствует лёд. Однако, этот метод не обладает достаточной точностью, так как причиной снижения мощности могут служить множество других факторов, не связанных с обледенением.

Таким образом, обледенение ветроэнергетических установок – это серьезная проблема, с которой приходится сталкиваться в холодных регионах. На данный момент не существует универсального метода определения наличия обледенения лопастей, поэтому часто находят применение вариации и совместное использование несколько методов одновременно.

### **Источники**

1. Сон Э.Е. и др. К выбору оптимальных конструктивных схем и параметров ветроэнергетических установок для Российской Арктики //Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2020. – №. 3. – С. 33-59.

2. Wei K. et al. A review on ice detection technology and ice elimination technology for wind turbine //Wind Energy. – 2020. – Vol. 23. – No. 3. – pp. 433-457.

УДК 658-264-621.365

## **ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДА АЧИНСК (ОБЗОР)**

Д.А. Шамбина

Науч. рук.канд. техн. наук, доцент А.Ш. Низамова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

daschka2001@bk.ru

В статье предложен обзор теплоснабжения города Ачинск, рассмотрено централизованное и децентрализованное теплоснабжение города, а также проблемы в теплоснабжении.

**Ключевые слова:** Ачинск, теплоснабжение, котельные, ТЭЦ, мощность.

## ELECTRICITY AND HEAT SUPPLY OF THE CITY OF ACHINSK (OVERVIEW)

D.A. Shambina  
KSPEU, Kazan, Russia  
daschka2001@bk.ru

The article proposes an overview of the heat supply of the city of Achinsk, considers the centralized and decentralized heat supply of the city, as well as problems in heat supply.

**Keywords:** Achinsk, heat supply, boiler houses, CHPP, power.

Ачинск – город, который расположен в Красноярском крае России. Он является третьим по численности городом в крае после Красноярска и Норильска. Население города – 100621 человек. Расположен в 160 км к западу от Красноярска, на северных отрогах хребта Арга, на правом берегу реки Чулым (правый приток Оби), при пересечении его с Транссибирской железнодорожной магистралью (станция Ачинск I). Площадь Ачинска – 103,21 км<sup>2</sup> [1].

Жилищно-коммунальное хозяйство является отраслью экономики города Ачинска, обеспечивающей население города жизненно важными услугами: отоплением, горячим и холодным водоснабжением, водоотведением, электроснабжением, газоснабжением.

Доля площади жилищного фонда, обеспеченного всеми видами благоустройства, в общей площади жилищного фонда города Ачинска на текущий момент составляет 82,3%. В жилищно-коммунальном комплексе города эксплуатируется централизованная система теплоснабжения протяженностью 162,6 км, суммарной мощностью около 300 Гкал/час. Основным поставщиком тепловой энергии для города является теплоэлектроцентраль АО «РУСАЛ Ачинск» (более 80% от общего объема теплотеплоэнергии), остальные 20% поставляют котельная ЗАО «Промэнерго» и котельные ООО «Теплосеть» и ЗАО «Назаровское». В настоящее время в замене нуждается 107,1 км (65,9%) ветхих тепловых сетей.

Обеспечение электрической энергией населения города и организаций, предоставляющих жилищно-коммунальные услуги, осуществляется преимущественно от централизованной системы энергоснабжения.

Электрические сети, распределительные пункты города Ачинска были построены в 60-е - 70-е годы, и их состояние на данный момент характеризуется большой степенью износа. Морально устаревшая и

изношенная инфраструктура становится причиной высоких потерь при передаче энергоресурсов потребителям. Основными проблемами отрасли жилищно-коммунального хозяйства города Ачинска являются:

- высокий уровень износа коммунальной инфраструктуры, обусловленный принятием в муниципальную собственность объектов коммунального назначения в ветхом и аварийном состоянии;

- высокие потери энергоресурсов на всех стадиях от производства до потребления, составляющие 30 – 50%, вследствие эксплуатации устаревшего технологического оборудования с низким коэффициентом полезного действия;

- качество очистки сточных вод, сбрасываемых в реку Чулым, на левобережных очистных сооружениях;

- несоответствие поставляемой воды действующим санитарным нормам и правилам по показателям содержания железа;

- уровень износа трансформаторных подстанций составляет 57%;

- уровень износа воздушных и кабельных линий электропередачи в среднем составляет 50%, а в старой черте города - 70% [2, 3].

Проектное задание на строительство ТЭЦ Ачинского глинозёмного комбината (АГК) начали разрабатывать в 1956 году, через год после вышедшего постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР о создании глинозёмного производства в Ачинске.

Возведение первой очереди ТЭЦ завершилось в 1970 году.

ТЭЦ АГК отпускает тепловую и электрическую энергию для производственных цехов Ачинского глинозёмного комбината, тепловую энергию – для нужд отопления и горячего водоснабжения города Ачинска. Для теплоснабжения города Ачинска и промплощадки Ачинского глинозёмного комбината (ОАО «РУСАЛ Ачинск») на ТЭЦ используется 5 котлов типа БКЗ-320-140ПТ2 (1 очередь) и 3 котла типа БКЗ-320-140ПТ5 (2 очередь). Станция построена по схеме с поперечными связями, с возможностью секционирования с выделением в блоки по два котла. Котлы имеют общий паропровод, общие магистрали по основному конденсату и питательной воде. Шесть турбоагрегатов (2 x Т-50-130, 2 x Р-50-130, 2 x ПТ-60-130) выдают общую электрическую мощность 320 МВт, которая целиком потребляется промплощадкой АГК. Для покрытия пиковых тепловых нагрузок в отопительный период установлено четыре водогрейных котла ПТВМ-50 и три – ПТВМ-100. Котлы первой очереди (ПТВМ-50) в настоящее время выведены из эксплуатации и законсервированы, котлы второй очереди используются для покрытия пика отопительной нагрузки города Ачинска. Основной вид топлива ТЭЦ —

бурый уголь марки 2БР. Годовое потребление составляет около 2 млн тонн. Общая установленная мощность ТЭЦ – 980 Гкал/ч [3].

Котельные ООО «Теплосеть» входят в состав базовых источников теплоснабжения города Ачинска и включают в себя 6 отопительных котельных, суммарной установленной тепловой мощностью 31,18 Гкал/ч. Помимо котельных на балансе ООО «Теплосеть» находится один центральный тепловой пункт с электродкотлами типа КЭВ4000/10-34 (5шт), работающих в пиковом режиме. Суммарная тепловая мощность котлов 15,8 Гкал/ч.

Котельная ООО «ТК Восток» входит в состав источников теплоснабжения города Ачинск. Суммарная установленная мощность котельной составляет 35 Гкал/ч. Тепловая мощность котельной была увеличена в 2018 году за счет ввода в эксплуатацию котла КВР-7,56-115 №2 производительностью 6,5 Гкал/ч.

Котельная ЗАО «Назаровское» введена в эксплуатацию в 2015 году. Она обеспечивает подогрев поставленного теплоносителя в объеме не менее 355 м<sup>3</sup>/ч согласно температурному графику и поддерживает среднесуточную температуру теплоносителя на коллекторах в точке раздела ЦТП.

Котельная ОАО «РЖД» введена в эксплуатацию в 1976 году. Суммарная установленная мощность котельной составляет 9,8 Гкал/ч [4].

Анализируя состояние теплоснабжения города, можно сделать вывод, что системы покрывают тепловую нагрузку города, но технологическое оборудование ТЭЦ и котельных изношено и требует модернизации или полной замены, также как и состояние тепловых сетей.

### **Источники**

1. Ачинск // Города России: энциклопедия. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – С. 31.

2. Стратегия социально-экономического развития города Ачинска до 2030 года. № 40-236р от 07.12.2018.

3. Приложение к постановлению администрации города Ачинска от 11.11.2020 № 274-п.

4. ТЭЦ Ачинский Глинозёмный комбинат [Электронный ресурс] Энергосети России <https://energoseti.ru/>

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ СМЕШИВАЮЩЕГО ТИПА В СХЕМАХ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

А.Р. Шарипов<sup>1</sup>, Д.Ш. Губайдулин<sup>2</sup>

Науч. рук. асс. О.Е. Бабиков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>aiazsha29@gmail.com, <sup>2</sup>gubajdulindanil082@gmail.com

В статье рассматривается перспективный способ повышения эффективности тепловых схем паротурбинных установок путём использования теплообменных аппаратов смешивающего типа. Рассмотрены варианты модернизации системы регенеративного подогрева за счет установки подогревателей низкого давления смешивающего типа. Представлены достоинства и недостатки теплообменных аппаратов данного типа. Рассмотрены варианты схемы включения смешивающих подогревателей низкого давления в систему регенеративного подогрева паротурбинной установки.

**Ключевые слова:** паротурбинная установка, смешивающий подогреватель низкого давления, система регенерации.

## APPLICATION OF HEAT EXCHANGERS OF MIXING TYPE IN SCHEMES OF STEAM TURBINE POWER PLANTS

A.R. Sharipov<sup>1</sup>, D.Sh. Gubaidulin<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>aiazsha29@gmail.com, <sup>2</sup>gubajdulindanil082@gmail.com

The article discusses a promising way to improve the efficiency of thermal circuits of steam turbine plants by using heat exchangers of a mixing type. Options for upgrading the regenerative heating system by installing low-pressure mixing type heaters are considered. The advantages and disadvantages of heat exchangers of this type are presented. Variants of the scheme for including low-pressure mixing heaters in the regenerative heating system of a steam turbine plant are considered.

**Keywords:** steam turbine plant, low pressure mixing heater, regeneration system.

В Российской энергетике большая часть электроэнергии производится на паротурбинных энергоблоках, которые входят в состав



тепловых электрических станций (ТЭС). Поэтому повышению термодинамической эффективности цикла паротурбинных установок уделяется особое внимание. Эффективность основного оборудования паротурбинных энергоустановок близка к предельной для современных материалов и технологий, поэтому повышение эффективности всей установки возможно в основном благодаря модернизации вспомогательного оборудования.

На текущий момент, теплообменное оборудование, используемое в паротурбинных установках, подвержено значительному износу и требует капитального ремонта или полной замены. В этом случае можно рассмотреть проведение модернизации системы регенеративного подогрева с использованием подогревателей низкого давления смешивающего типа.

По данным зарубежных и отечественных источников, применение таких теплообменных аппаратов вносит практически 55% от общей доли повышения экономичности за счет модернизации системы регенеративного подогрева [1]. Эта информация указывает на актуальность исследований в данной области.

Смешивающие подогреватели обеспечивают наилучшие условия для эффективного теплообмена между конденсатом и паром низкого давления из отбора турбины, благодаря прямому контакту между ними. Такой подход исключает недогрев, который присутствует в поверхностных подогревателях и является их основным недостатком, существенно влияющим на экономичность системы регенеративного подогрева и паротурбинной установки в целом.

В теплоэнергетике установлена нормированная величина недогрева, которая должна быть в пределах 2-4 °С для поверхностных подогревателей. Однако на практике этот параметр может достигать значений от 10 до 15 °С. Это свидетельствует о значительных потерях тепловой энергии греющего пара и отрицательно влияет на эффективность теплообменного аппарата. В отличие от поверхностных подогревателей, смешивающие подогреватели не имеют трубчатых поверхностей нагрева, что означает отсутствие термического сопротивления. В результате величина недогрева у подогревателей смешивающего типа близка к нулю [2].

Целесообразно питать смешивающие подогреватели паром последних отборов турбины, где содержание воздуха в паре может быть выше нормы. В таких условиях смешивающие подогреватели

обеспечивают стабильный и максимальный нагрев конденсата, поскольку они менее чувствительны к наличию неконденсирующихся газов.

Смешивающие подогреватели низкого давления имеют следующие достоинства: относительно простая конструкция, легкость в изготовлении, повышенная надежность, стабильный и максимальный нагрев конденсата при высоком содержании неконденсирующихся газов, возможность деаэрирования конденсата.

Один из основных недостатков системы регенеративного подогрева смешивающего типа заключается в том, что конденсат может попадать в проточную часть паровой турбины при недостаточно совершенной системе защиты и автоматизации. Попадание влаги в проточную часть обусловлено наличием обратного потока пара, который возникает при вскипании конденсата в результате сброса нагрузки паровой турбины. Это может привести к увеличению вращения ротора сверх номинальных значений.

При внедрении смешивающих подогревателей низкого давления в систему регенеративного подогрева необходимо учитывать выбор схемы их включения. Существуют две основные схемы: гравитационная, где группа смешивающих подогревателей располагается на разных высотах относительно друг друга, и последовательная, где применяются конденсатные насосы. Выбор оптимальной схемы является важным фактором для эффективной работы системы [3].

Таким образом, использование смешивающих подогревателей низкого давления, как в гравитационной схеме подключения, так и по отдельности, является важным направлением при модернизации, реконструкции или строительстве новых тепловых электростанций. Для успешной модернизации необходимо применение правильных методов расчета теплообменных аппаратов, выбор рациональной схемы их включения, а также дополнительная работа над системой защиты и автоматики.

### **Источники**

1. Сухоруков Ю.Г., Ермолов В.Ф., Трифонов Н.Н. Некоторые вопросы повышения экономичности системы регенерации низкого давления паровых турбин. Теплоэнергетика, №12, 2008, с.62–65.

2. Ермолов В.Ф., Пермяков В.А., Ефимочкин Г.И., Вербицкий В.Л. Смешивающие подогреватели паровых турбин. –М.: Энергоиздат, 1982. – 208 с.

3. В.Я. Рыжкин. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов по специальности "Тепловые электр. станции" пособие / В. Я. Рыжкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергия, 1976. – 447 с.

## Секция 2. Экологические проблемы водных биоресурсов

УДК 574.5

### МАКРОЗООБЕНТОС ЗАИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.Р. Ахманов

Науч. рук. канд. биол. наук, доцент М.Ф. Хамитова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан, Россия  
ahmanovsasha@gmail.com

В работе показано видовое разнообразие, численность и биомасса, частота встречаемости макрозообентоса Заинского водохранилища на р.Степной Зай.

**Ключевые слова:** видовое разнообразие, численность, биомасса, частота встречаемости, макрозообентос, Заинское водохранилище.

### MACROZOOBENTHOS OF THE ZAINSKY RESERVOIR

A.R. Akhmanov

KSPEU, Kazan, Russia  
ahmanovsasha@gmail.com

The paper shows the species diversity, abundance and biomass, frequency of occurrence of macrozoobenthos of the Zainsky reservoir on the Steppe Zai river.

**Keywords:** species diversity, abundance, biomass, frequency of occurrence, macrozoobenthos, Zainsky reservoir.

Заинское водохранилище расположено на реке Степной Зай у города Заинск в Заинском районе Татарстана [1]. Данный водоём образован в 1962 г. в связи с созданием Заинской ГРЭС и пруда-охладителя [2]. Площадь водного зеркала при нормальном подпорном уровне (73 м) составляет 20,5 км<sup>2</sup>, полный объем – 63 млн. м<sup>3</sup>, полезный – 34,8 млн. м<sup>3</sup>; средняя глубина 3,1 м; длина до 15 км (в период половодья); наибольшая ширина 3,2 км [3].

Макрозообентос – это организмы, обитающие на поверхности грунта и в толще его с размерами крупнее 2 мм [4]. Бентические животные разнообразны: одни ведут прикрепленный образ жизни, другие зарываются в ил или песок, вбуравливаются в камни, третьи – ползают или бегают по дну, четвертые – плавают в придонных слоях воды и т. д. У этих животных часто хорошо развиты раковины, панцири и другие защитные

приспособления, внутренний скелет (если он имеется) может быть массивным. Тела их разнообразно окрашены, часто под цвет дна, и непрозрачны [5].

Материалом для данной работы послужили пробы макрозообентоса, отобранные 23 августа 2022 года в Заинском водохранилище на р. Степной Зай в Заинском районе Республики Татарстан, Россия. Отбор проб производился с 8 станций, 5 станций на участках над сублиторалью и профундалью и 3 в прибрежной зоне.

В результате проведенного исследования в составе макрозообентоса были встречены 34 вида и формы, из которых 9 видов и форм относились к олигохетам, 8 – к моллюскам, 6 – к личинкам хирономид. Кроме того, в составе макрозообентоса Заинского водохранилища встречались 3 вида ручейников, по 2 вида пиявок и мшанок, а также по одному виду бокоплавов, креветок, стрекоз и подёнок.

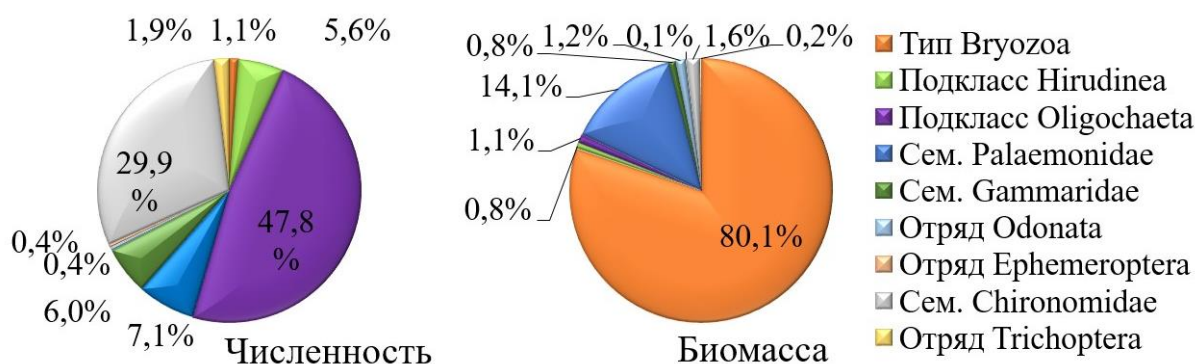
По частоте встречаемости преобладающими видами являлись: моллюск *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), который встречался на 6 из 8 станциях, личинка хирономид *Limnochironomus* гр. *nervosus* (Staeger, 1839), встречавшийся на 5 станциях, а также моллюск *Dreissena bugensis* (Andrusov, 1897), отмеченный на 4 станциях.

Численность макрозообентоса на всех станциях варьировалась от 520 до 3770 экз./м<sup>2</sup>. Основу численности на всех станциях составляли моллюски *D. polymorpha* (Pallas, 1771). На них приходилось до 37,6% всей численности макрозообентоса (5780 экз./м<sup>2</sup>). Среди мягкого зообентоса (см. рисунок) по численности доминировали олигохеты *Stylaria lacustris* (Linné, 1767), численность которой была 1680 экз./м<sup>2</sup>, это 31,7% численности мягкого макрозообентоса и 10,9% от общей численности.

На глубоководных станциях (более 2,5 м) численность зообентоса варьировалась от 860 до 3770 экз./м<sup>2</sup>. Основу численности на данных станциях составляли моллюски *D. polymorpha* (Pallas, 1771) и олигохеты *S. lacustris* (Linné, 1767). На прибрежных станциях картина отличалась, здесь численность колебалась от 520 до 2230 экз./м<sup>2</sup>. Доминировали моллюски *Planorbarius corneus* (Linnaeus, 1758), численность которых достигала 1560 экз./м<sup>2</sup>. Среди мягкого зообентоса наибольшая численность отмечалась у личинок хирономид *L.* гр. *nervosus* (Staeger, 1839), до 580 экз./м<sup>2</sup>.

Биомасса макрозообентоса варьировалась от 12,2 до 1040,5 г/м<sup>3</sup>, на мягкий зообентос приходилось от 0,08 до 57,24 г/м<sup>3</sup>. К доминирующему виду по биомассе среди мягкого зообентоса относились мшанки *Plumatella*

*fungosa* (Pallas, 1768), их биомасса составляла 56,7 г/м<sup>3</sup> или 79,7% от биомассы мягкого зообентоса и 2,1% всей биомассы (см. рисунок).



Распределение численности и биомассы между представителями мягкого макрозообентоса Заинского водохранилища, 2022г.

На глубоководных станциях биомасса зообентоса варьировалась от 12,2 до 1041 г/м<sup>2</sup>. Основу биомассы на данных станциях составляли моллюски *D. polymorpha* (Pallas, 1771). На прибрежных станциях биомасса варьировалась от 25,5 до 58,9 г/м<sup>2</sup>, доминировали мшанки *P. fungosa* (Pallas, 1768), с биомассой до 56,2 г/м<sup>2</sup>, также значительный вклад в биомассу мягкого макрозообентоса вносили креветки *Macrobrachium nipponense* (DeHaan, 1849), с биомассой до 8,86 г/м<sup>2</sup>.

Таким образом, макрозообентос Заинского водохранилища отличается высоким видовым разнообразием, с значительным вкладом в численности и биомассу видов-акклиматизантов.

### Источники

1. Заинское водохранилище // Википедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Заинское\\_водохранилище](https://ru.wikipedia.org/wiki/Заинское_водохранилище) (дата обращения: 06.03.2023).
2. Водные ресурсы Заинского района // Святой источник [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://svyato.info/13396-vodnye-resursy-zainskogo-rayona.html> (дата обращения: 06.03.2023).
3. Заинское водохранилище // Татарская энциклопедия Tatarica [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tatarica.org/ru/razdely/priroda/gidrograficheskaya-set/vodohranilisha/zainskoe-vodohranilishe> (дата обращения: 06.03.2023).

4. Что такое макрозообентос? // Академик [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://normative\\_reference\\_dictionary.academic.ru/33180/макрозообентос](https://normative_reference_dictionary.academic.ru/33180/макрозообентос) (дата обращения: 05.03.2023).

5. Калайда М. Л. Зоология: Конспект лекций. Часть 1. Зоология беспозвоночных / М.Л. Калайда. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008. – 108 с.

УДК 639.371.374

## **ВЫБОР СУБСТРАТА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛИСТОВОГО САЛАТА В АКВАПОНИКЕ**

А.Б. Сабирова

Науч. рук. доцент С.Д. Борисова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

sabirovaaliya5@gmail.com

В данной работе было проведено исследование по различным видам субстратов предназначенных для выращивания листового салата в аквапонической установке. Было рассмотрено некоторое количество грунтов подходящих для культивирования растений в УЗВ, описаны их параметры, физические и химические свойства, проведена сравнительная характеристика по их преимуществам и недостаткам. Проведены эксперименты по выращиванию листового салата на различных грунтах с целью выявления наиболее оптимального варианта.

**Ключевые слова:** аквакультура, установка замкнутого водоснабжения (УЗВ), аквапоника, гидропоника, грунты, растения.

## **CHOOSING A SUBSTRATE FOR GROWING LEAF LETTUCE IN AQUAPONICS**

A.B. Sabirova

KSEU, Kazan, Republic of Tatarstan

sabirovaaliya5@gmail.com

In this work a study on different types of substrates for the cultivation of leaf lettuce in an aquaponic plant was carried out. A number of substrates suitable for cultivation of plants in SPC were considered, their parameters, physical and chemical properties were described and comparative characteristics of their advantages and disadvantages were carried out. Experiments were carried out on the cultivation of leaf lettuce in different soils in order to identify the best option.

**Key words:** aquaculture, closed-loop water plant (CLWP), aquaponics, hydroponics, soils, plants.

Аквапоника - это выращивание зеленных, овощных и декоративных культур на циркуляционных водах установок замкнутого водообеспечения выращивания рыб без использования почвы. Данное направление продолжает набирать популярность в коммерческом садоводстве и в науке, и по мере этого разрабатывается все больше и больше технологий культивирования растений в аквапонике. Быстрорастущее население, технологический прогресс в сельском хозяйстве и увеличение производства ценных видов растений с помощью аквапонических установок являются современными научными трендами [1]. Также в настоящее время развивающиеся страны сосредотачиваются на инновационных тенденциях в сельском хозяйстве, чтобы удовлетворить растущие потребности в продуктах питания. Аквапоника имеет ряд технологических преимуществ по сравнению с традиционными методами выращивания растений и таким методом как гидропоника: стабильное освещение, отсутствие химикатов, использование питательной среды без добавления химических веществ, грунт в аквапонике – это среда для размножения полезных бактерий, корневая система растений в аквапонике служит своеобразным биофильтром. В последнее время актуальным становится вопрос выбор грунта для выращивания ценных растений в аквапонике [2-4].

При выращивании растений без почвы используют различные субстраты. Чаще всего это местные материалы. В любом случае субстрат должен отвечать следующим требованиям: не содержать ядовитых веществ и быть химически нейтральным или инертным к питательному раствору; иметь достаточную водоудерживающую способность и хорошую аэрацию; субстрат должен обладать достаточной прочностью, позволяющей удерживать растение в вертикальном положении на протяжении всей жизни; субстрат должен иметь высокие показатели водо- и воздухопроницаемости, которые наделяют его хорошими аэрационными свойствами и достаточный уровень влагоемкости, позволяющий удерживать в себе необходимое растению количество влаги. Необходимо отметить, что при продолжительном использовании химические и физические качества любого субстрата для аквапоники ухудшаются. Это может крайне негативно отражаться на процессе культивации растений. Поэтому субстрат необходимо периодически менять или же регулярно за ним ухаживать.

Нами был проведен эксперимент по проращиванию семян листового салата и его выращиванию до товарной массы в аквапонической установке кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» Казанского

государственного энергетического университета. В качестве субстратов были использованы такие грунты как: поролон, перлит, галька, минеральная вата, гидрогель, кокосовое волокно, мох сфагнум, керамзит. Результаты эксперимента по проращиванию семян листового салата показали, что для данного растения наиболее подходящим субстратом является керамзит и галька. Это связано с тем, что керамзит являясь достаточно лёгким (по весу) субстратом хорошо обеспечивает растение кислородом, он хорошо дренирует корневую систему, не вызывает изменений химического состава воды, подходит для аквапонных систем периодического затопления или других систем с частыми циклами полива. Керамзит легко использовать повторно, что делает его весьма экономичным. Галька пропускает воду, не задерживая и не впитывая её, обеспечивает аэрацию корневой системе и хорошо удерживает растение в вертикальном состоянии. Эти же субстраты были наиболее подходящими грунтами и при последующем выращивании листового салата до товарной массы.

Таким образом, перспективными субстратами для выращивания ценных видов растений в аквапонике являются керамзит и мелкая галька. Оба субстрата способны удерживать большое количество влаги, имеют хорошие аэрационные и дренажные свойства и благоприятный уровень рН, не деформируются в процессе эксплуатации, отсутствует необходимость дополнительной пересадки растений и предварительной обработки субстрата.

### **Источники**

1. Алиев Э. А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах. — К.: Урожай, 2018.

2. Hydroponics and Aquaponics: The Beginner's Guide to Choose Your Best Sustainable Gardening System and Grow Organic Vegetables at Home Without Soil Paperback – April 22, 2020. – С. 34-36.

3. Калайда М.Л., Борисова С.Д. Использование аквапонии в эксплуатации малой рыбоводной установки с замкнутым циклом водообеспечения // В сборнике: Современное состояние и развитие аквакультуры: экологическое и ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов разведения, технологии выращивания. Материалы международной конференции. - 2020. - С. 94-98.

4. Сабирова А.Б., Борисова С.Д. Результаты выращивания листового салата в установке замкнутого цикла водоснабжения по воспроизводству рыбы // В сборнике: Водные биоресурсы и аквакультура Юга России.



материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. - Кубанский государственный университет: 2020. - С. 54-60.

УДК 639.3.05

## **МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ОБОРОТНЫХ ВОД В ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ**

А.Т. Валиуллина

Науч. рук. канд. биол. наук М.Ф. Хамитова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

alinavaliullina1403@gmail.com

В работе описаны особенности динамики минерализации воды в рыбоводных установках и аквариумах кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

**Ключевые слова:** общая минерализация, циркуляционная установка, растворённые вещества.

## **MINERALIZATION OF CIRCULATING WATERS IN CIRCULATION PLANTS**

A.T. Valiullina

KSPEU, Kazan, Tatarstan

alinavaliullina1403@gmail.com

The paper describes the features of the dynamics of water mineralization in fish-breeding plants and aquariums of the Department of "Aquatic Bioresources and Aquaculture" of the Federal State Budgetary Educational Institution of KSPEU.

**Keywords:** general mineralization, circulation plant, dissolved substances.

Общая минерализация – показатель, который представляет собой количество растворённых веществ, содержащихся в воде (это могут быть неорганические соли, органические вещества). Нередко этот показатель называют содержанием твёрдых веществ или общим солесодержанием. Обычно минерализацию измеряют в миллиграммах на литр (мг/л, мг/дм<sup>3</sup>) или в килограммах на кубический метр (кг/м<sup>3</sup>). Также минерализацию

можно выразить в миллионных долях –«parts per million» (ppm). Соотношение между единицами измерения в мг/л и ppm почти равное [1].

В условиях лабораторий данный показатель чаще всего измеряют при помощи кондуктометра, также используется TDS-метр [2].

В естественных водоемах растворённые в воде вещества, которые образуют общую минерализацию, поступают в воду из грунта [3]. В условиях УЗВ и аквапонных установок минерализация как правило растет, что связано с работой блока очистки и испарением воды. В отдельных источниках TDS используют как маркер потребности в подмене воды.

Для получения потомства пресноводных рыб, которые не выходят за пределы своего места обитания, пригодна вода с минерализацией, не превышающей 1 г/л (1000 мг/л) [4]. Личинки и мальки радужной форели переносят повышение минерализации воды до 5-8 г/л, сеголетки – до 14 г/л, годовики – до 20-25 г/л, двухлетки и старше – до 30-35 г/л.

Все измерения проводились при помощи прибора HANNA HI 98195. Исследование проводилось в период с 6 февраля 2023г. по 6 марта 2023г. с частотой 1 раз в неделю на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет».

Источником водопитания рыбоводных установок кафедры является водопроводная вода, ее минерализация держится на одном уровне и составляет в среднем 468 мг/л. Во всех рыбоводных емкостях кафедры минерализация была выше, чем у свежей воды (от 489 до 3322 мг/л). Наибольшая минерализация отмечена в системе с карповыми рыбами, где в качестве профилактики заболеваний вносилась поваренная соль.

В течение периода исследований минерализация в установке с ежедневной подменой части воды (УЗВ2) варьировала от 486 до 533 мг/л. Отмечалось постепенное снижение минерализации воды (рис.1).

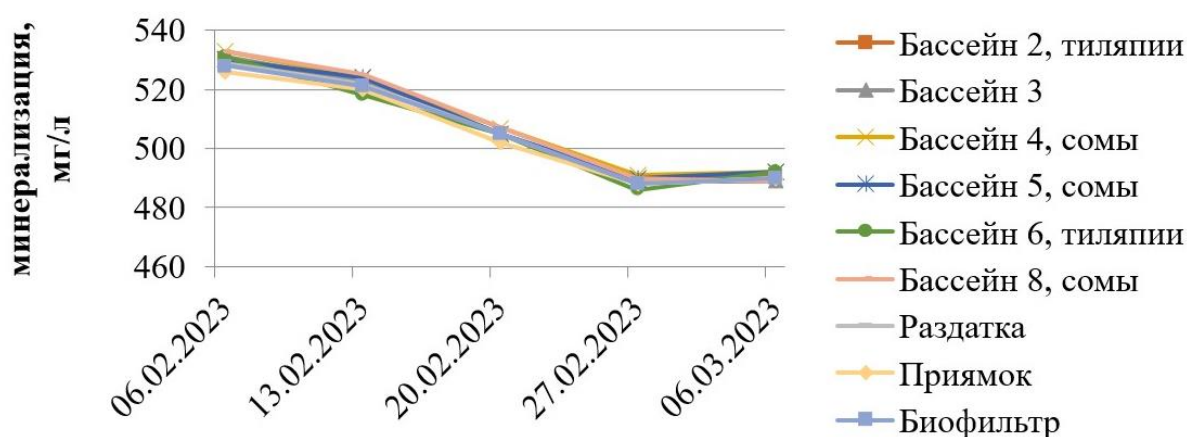


Рис. 1 Минерализация воды в УЗВ2 каф. «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ»

В установке по совместному содержанию рыбы, раков и растений (УЗВ1) минерализация в течение периода исследования росла от 544 до 612 мг/л (рис.2).

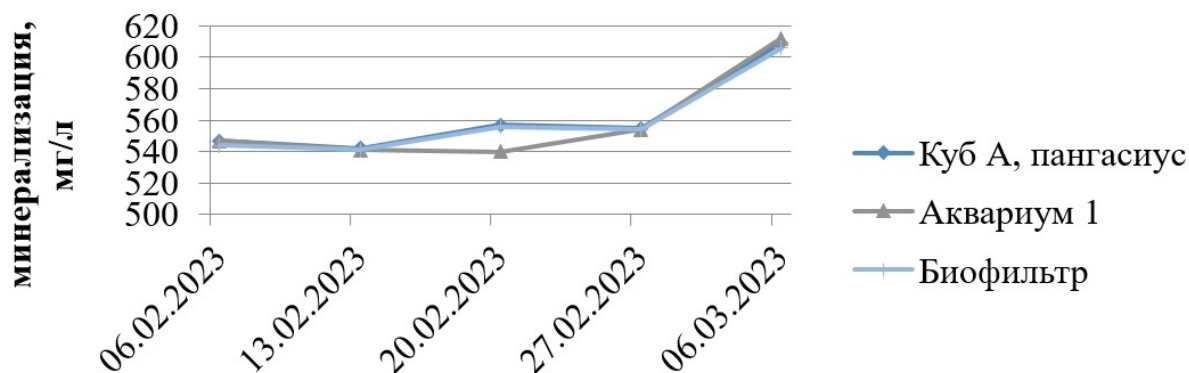


Рис. 2 Минерализация воды в УЗВ1 каф. «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Наибольшие значения минерализации отмечались в аквариальных установках по содержанию красноклешневых раков – 628-1034 мг/л, минерализация в течение периода исследований колебалась и не значительно росла (рис.3).

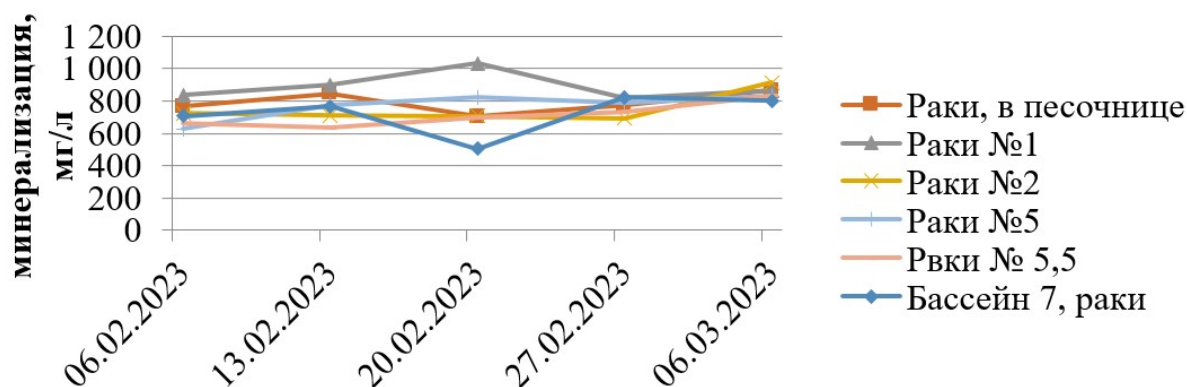


Рис. 3 Минерализация воды в аквариальных установках по содержанию красноклешневых раков каф. «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ»

### Источники

1. Общая минерализация (солесодержание в воде), сухой остаток. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20080105072422/> (дата обращения: 5.03.2023).

2. Общая минерализация сточной, природной и питьевой воды: нормы, измерение, определение по формуле. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vistaros.ru/stati/analizatory/opredelenie-suhogo-mineralnogo->

ostatka-v-vode.html?ysclid=lev8g86dpa741740508 (дата обращения: 5.03.2023).

3. Минерализация воды. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dzen.ru/a/XzDz1-Qa4E9Mv0RQ>(дата обращения: 5.03.2023).

4. Козлов В.И. Справочник фермера-рыбовода. Москва: ВНИРО, 1998. 342с.

УДК 574.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Е.А. Васильева<sup>1</sup>, А.С. Медведева<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. биол. наук М.Э. Гордеева

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vasilievakaterina2003@mail.ru

Вода хорошего качества с физико-химической точки зрения – это залог здоровья человечества и благоприятной среды для обитания гидробионтов. Выделены основные необходимые для оценки качества воды физико-химические показатели на основе данных СанПиН и литературного обзора: общая минерализация, запах, привкус, цветность, мутность, рН, проводимость и окислительно-восстановительный потенциал. Выявлено, что потребление воды с отрицательным ОВП позволяет клеткам организма сохранять здоровье более длительный промежуток времени – нейтрализовать оксиданты. В то же время вода с отрицательным зарядом непригодна для обитания гидробионтов. Проведенные исследования позволяют ранжировать питьевую воду с позиции наибольшей пригодности к потреблению, а водопроводную с разных районов г. Казани дополнительно с точки зрения пригодности к разведению в циркуляционных установках.

**Ключевые слова:** физико-химические показатели, рН, ОВП, питьевая вода, водопроводная вода.

## STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF DRINKING WATER FROM DIFFERENT SOURCES

E.A. Vasileva<sup>1</sup>, A.S. Medvedeva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>FSBEI HE "KSPEU", Kazan

<sup>1</sup>vasilievakaterina2003@mail.ru

Water of good quality from a physico-chemical indicators is the key to the health of mankind and a favorable environment for the habitat of hydrobionts. The main physical and chemical indicators necessary for water quality assessment were identified based on SanPiN data and a literary review: general mineralization, smell, taste, color, turbidity, pH, conductivity and redox potential. It was revealed that the consumption of water with negative Eh allows the cells of the body to maintain health for a longer period of time - to neutralize oxidants. At the same time, water with a negative charge is unsuitable for the habitat of hydrobionts. The studies carried out will make it possible to rank drinking water from the position of the greatest suitability for consumption, tap-water from different areas of Kazan, in addition, for dilution in circulation plants.

**Keywords:** physico-chemical parameters, pH, Eh, drinking water, tap-water.

По данным Всемирной организации здравоохранения, больше 80 % заболеваний связано с употреблением некачественной питьевой воды: значительный уровень загрязнения ежегодно приводит к смерти 25 млн человек, т. к. с водой в организм человека поступает до 40 % токсичных веществ [1]. Постоянный мониторинг показателей качества воды позволяет выявить отклонения в нормах и заблаговременно принять необходимые меры.

В 2012 году был проведён анализ водопроводной воды разных районов города Казани. Результаты показали, что превышено допустимое значение содержание ионов тяжелых, сульфатов, фторидов и хлоридов. Это связано с поступлением в открытые водоисточники бытовых сточных вод; с геологическими особенностями региона, с солевой обработкой дорог и улиц городов антигололёдными составами [2]. Если человек выбирает какую воду потреблять, то для гидробионтов – это среда обитания. А в условиях выращивания в циркуляционных системах источник воды в большинстве случаев – это водопроводная вода. Следовательно, ее качества актуальная задача современности.

На данный момент в Республике Татарстан используются 3257 источников централизованного питьевого водоснабжения, 10 из которых поверхностные. По данным Роспотребнадзора 2020 года доля неудовлетворительных проб воды из поверхностных источников по санитарно-химическим показателям составляет 12,3%, из подземных источников – 24,0% [3]. По данным исследований 2021 года среди 14 родников Республики Татарстан 6 не соответствуют требованиям СанПиН из-за превышения ПДК по нитрат-ионам, жесткости, содержанию гидрокарбонатов [4].

В связи с вышесказанным представляет интерес проведения научного исследования физико-химических показателей питьевой воды: бутилированной, родниковой, водопроводной разных районов г. Казани и водопроводной после прохождения через специализированные бытовые фильтры. Проведенный анализ литературных источников позволил выделить для анализа показатели, которые входят в нормативы СанПиН: общая минерализация, запах, привкус, цветность, мутность, рН, а также дополнительные показатели: проводимость и комплексный показатель – окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) – основной для нашего исследования.

Литературный обзор показал, что ОВП человека изменяется от -90 до -200 мВ, а к примеру тилипии -96 мВ, при этом ОВП питьевой воды бутилированной от +100 до +300 мВ, водопроводной от +80 до +300 мВ, родниковой от +120 до +300 мВ. Возникает вопрос определения наиболее благоприятного диапазона значений ОВП для потребления человеком и обитания гидробионтов и определения соответствия водопроводной воды г. Казани рекомендованным литературным значениям.

В настоящее время в литературе присутствуют сведения, что вода отрицательно заряженная наиболее благоприятна для употребления в связи с тем, что она будет заряжать клетки и тратиться меньше энергии на коррекцию воды. Вода с отрицательным зарядом нейтрализует оксиданты. Исходя из этого возможно определить наиболее благоприятную водопроводную воду для потребления человеком с позиции ОВП и обитания гидробионтов. В тоже время для воды в установках с замкнутым циклом водоснабжения рекомендуют воду с зарядом от +150 до +250 мВ и недопустима вода с отрицательным зарядом.

Проведенное исследование позволит ранжировать питьевую воду с позиции наибольшей пригодности к потреблению, а водопроводную с разных районов г. Казани дополнительно с точки зрения пригодности к разведению в циркуляционных установках.

### **Источники**

1. Каримова А.В. Содержание нитрат-ионов в питьевых водах Восточноказахстанской области // Мир науки, культуры, образования. 2013. № 4(11). С. 402–405.
2. Альмитова Л.И., Макеева В.И., Макаева А.Р. Результаты исследований качества родниковых вод Республики Татарстан // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. - 2021. - №5. - С. 75-83.

3. Половняк В.К., Сарбулак-Протасов В.А., Хайбрахманова Д.Ф. Экологические проблемы питьевой воды Казани и окрестностей // Научно-технический вестник Поволжья. - 2012. - №1. - С. 15.

4. Гордеева М. Э., Платонова А. В. Динамика значений окислительно-восстановительного потенциала природных вод // Материалы национальной научно-практической конференции «Общество, образование, наука в современных парадигмах». – 2020. – С. 196-201

УДК 574.583

## **ВИДОВОЙ СОСТАВ ЗООПЛАНКТОНА ЗАИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО МАТЕРИАЛАМ 2022 ГОДА**

Е.А. Васильева

Науч. рук. канд. биол. наук М.Ф. Хамитова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vasilievakaterina2003@mail.ru

В работе описан видовой состав зоопланктонного сообщества Заинского водохранилища Республики Татарстан. Приведены данные по соотношению групп зоопланктона водохранилища.

**Ключевые слова:** водохранилища, водоём-охладитель, биотоп, биоценоз, зоопланктон, видовой состав.

## **THE SPECIES COMPOSITION OF ZOOPLANKTON OF THE ZAINSKY RESERVOIR BASED ON THE MATERIALS OF 2022**

E.A. Vasileva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vasilievakaterina2003@mail.ru

The paper describes the species composition of the zooplankton community of the Zainsky reservoir of the Republic of Tatarstan. Data on the ratio of zooplankton groups of the reservoir are presented.

**Keywords:** reservoirs, cooling reservoir, biotope, biocenosis, zooplankton, species composition.

Водохранилище – это искусственно созданный с помощью водоподпорных сооружений водоём, используемый для нужд человека.

Для регулирования уровня воды в реках, создания рыбного хозяйства и водных ресурсов на территории Республики Татарстан было создано 4 водохранилища [1]. Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища используются для обслуживания гидроэлектростанций, Заинское – как водоем охладитель Заинской электростанции, Карабашское – для заводнения нефтяных месторождений.

Зарегулирование речного стока приводит к изменениям гидрологического и гидрохимического режимов водоема. В процессе формирования водохранилища реофильные биоценозы сменяются на лимнофильные. Особенно сильные изменения претерпевает зоопланктонное сообщество, состав которого зависит от скоростей течения.

Воздействие, связанное с использованием водоема, вызывает также изменения в биотопе и биоценозе. Использование Заинского водохранилища для охлаждения вод ГРЭС приводит к изменению температурного режима водоема и уменьшению количества холодноводных видов. С этих позиций нас заинтересовало изучение видового состава зоопланктона Заинского водохранилища.

Заинское водохранилище – водоём-охладитель Заинской ГРЭС, расположен на реке Степной Зай в Заинском районе. Водоохранилище было образовано в 1963 г, его объем 63 млн. м<sup>3</sup>, а площадь – 16,1 км<sup>2</sup> [1].

Исследования авторов на р.Зай в августе 2015 г. [2] показали, что максимальное число видов по течению реки отмечалось в Заинском водохранилище – 15 видов (6–10 на каждой станции), среди которых преобладали *Moina micrura*, *Daphnia longispina*, *Brachionus longirostris*.

Материалом для работы послужили пробы зоопланктона, отобранные с 5 станций в Заинском водохранилище в августе 2022г. Пробы отбирались из поверхностного слоя воды на участках над литоралью и сублиторалью с глубинами от 2,5 до 4,5 м. Температура при отборе проб варьировала от 26,07 до 27,71°C, прозрачность – от 1,2 до 2,2.

Обработка проб зоопланктона проводилась стандартными гидробиологическими методами на базе лаборатории кафедры ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ» [3]. В ходе обработки образцов было выявлено 16 видов и форм представителей зоопланктонного сообщества, из которых 3 относились к коловраткам, 4 – ветвистоусым, 6 – веслоногим рачкам, а также 3 прочих видов и форм, которые наблюдались в отобранных пробах воды (табл.1).

Среди коловраток в водоёме наиболее распространены *Keratella valga*; из ветвистоусых рачков – *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia affinis* и



*Daphnia cucullata*; из веслоногих рачков – *Mesocyclops leuckarti*, *Mesocyclops crassus*, *Ahanthocyclops languidoides*.

Зарегулирование стока реки вызывает изменения в соотношении коловраток и ракообразных, так в р.Волга до зарегулирования в зоопланктоне на коловраток приходилось 61,4-70,3% от общего списка видов [4], в период после зарегулирования число видов ракообразных всегда превышало число видов коловраток, их соотношение в среднем составляло 60% ракообразных к 40% коловраток.

Таблица 1

Виды и формы зоопланктона Заинского водохранилища в августе 2022г

Основные группы		Подкласс Copepoda	
Тип Rotifera		Сем. Cyclopidae	
Сем. Trichotriidae		8	Cyclops kolensis (Lilljeborg, 1901)
1	Trichocerca capucina (Wierzejski & Zacharias, 1893)	9	Mesocyclops leuckarti (Claus, 1857)
Сем. Brachionidae		10	Mesocyclops crassus (Fisher, 1853)
2	Keratella valga (Gosse, 1851)	11	Ahanthocyclops languidoides (Lilljeborg, 1901)
Сем. Synchaetidae		12	Copepodita
3	Polyarthra vulgaris (Carlin, 1943)	13	Nauplii
<u>Надотряд Cladocera</u>		Прочие виды и формы	
Сем. Bosminidae		Тип Amoebozoa	
4	Bosmina longirostris (O.F. Muller, 1785)	Класс Tubulinea	
Сем. Daphniidae		Сем. Diffugiidae	
5	Ceriodaphnia affinis (Dana, 1853)	14	Diffugia oblonga (Ehrenberg, 1838)
6	Daphnia cucullata (Sars, 1862)	Тип Bryozoa	
Сем. Moinidae		15	Plumatella fungosa яйцо (Pallas, 1768)
7	Moina macrocopa (Straus, 1820)	16	Chironomidae sp.

При исследовании Заинского водохранилища соотношение ракообразных к коловраткам составило 27% к 73%, что характеризует зоопланктон водохранилища как лимнофильный.

#### Источники

1. Заинское водохранилище // TATARICA Татарская энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <https://tatarica.org/ru/razdely/priroda/>

gidrograficheskaya-set/vodohranilisha/zainskoe-vodohranilishe (дата обращения: 27.02.2023).

2. Любин П.А., Токинова Р.П. Закономерности изменения видового состава и количественной структуры зоопланктона в реке Зай // Российский журнал прикладной экологии. 2021. С. 34-40.

3. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

4. Калайда М.Л. Экологическая оценка Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенного воздействия. / М.Л. Калайда. Казань.: Казан.гос.энерг.ун-т, 2003. 135с.

УДК 574.583

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗООПЛАНКТОНА ЗАИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.А. Васильева

Науч. рук. канд. биол. наук М.Ф. Хамитова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vasilievakaterina2003@mail.ru

В работе приведен количественный анализ зоопланктонного сообщества Заинского водохранилища Республики Татарстан. Приведены данные по средней численности зоопланктона водохранилища за август 2022 года.

**Ключевые слова:** коловратки, ветвистоусые, веслоногие, зоопланктон, количественные характеристики, динамика численности, водохранилища.

## QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF ZOOPLANKTON OF THE ZAINSKY RESERVOIR

E.A. Vasileva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vasilievakaterina2003@mail.ru

The paper presents a quantitative analysis of the zooplankton community of the Zainsky reservoir of the Republic of Tatarstan. The data on the average number of zooplankton of the reservoir for August 2022 are given.

**Keywords:** rotifers, branchous, paddlefoot, zooplankton, quantitative characteristics, population dynamics, reservoirs.

Водная поверхность Республики Татарстан занимает 3,5 тыс. км<sup>2</sup> или 5,2% от всей площади Татарстана [1]. На территории функционируют 4 водохранилища – Куйбышевское, Нижнекамское, Заинское и Карабашское.

В 1963 году на реке Степной Зай основали третье по счёту водохранилище – Заинское, которое используется для нужд технического водоснабжения ГРЭС. Длина водохранилища составляет примерно 12 километров, ширина около 2 км, объем – 63 млн. м<sup>2</sup>, а площадь – 16,1 км<sup>2</sup> [2]. Отличительной чертой Заинской ГРЭС является то, что нижняя часть водохранилища в зимнее время практически не замерзает благодаря теплomu течению. Замедление течения, увеличение площади мелководной зоны и увеличение температуры воды в водоеме прямо влияют на его продукционные характеристики, с этих позиций для нас представило интерес изучение количественных характеристик зоопланктонного сообщества Заинского водохранилища.

По данным исследований авторов в августе 2015г [3] в зоопланктоне Заинского водохранилища доминировали копеподитные стадии веслоногих рачков, на долю которых приходилось более половины общей численности и биомассы. К субдоминантам отнесены ветвистоусые рачки *Moina micrura*, *Daphnia longispina* и *Bosmina longirostris*, на их долю в среднем пришлось по 10% численности и биомассы.

Отборы проб зоопланктона в Заинском водохранилище Республики Татарстан проводились в конце августа 2022 года с 5 станций. Обработка проб зоопланктона проводилась на базе лаборатории кафедры ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ» стандартными гидробиологическими методами [4].

В составе зоопланктона было встречено 16 видов и форм, из которых 3 относились к коловраткам, 4 – ветвистоусым, 6 – веслоногим рачкам и 3 к прочим видам и формам. Численность зоопланктона по станциям варьировала от 1,2 тыс. экз./м<sup>3</sup> до 51,6 тыс экз./м<sup>3</sup> и в среднем составляла 27,0 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Основу численности составляли ракообразные, на веслоногих ракообразных приходилось 63,8% от общей численности, на ветвистоусых – 33% (рис.1).

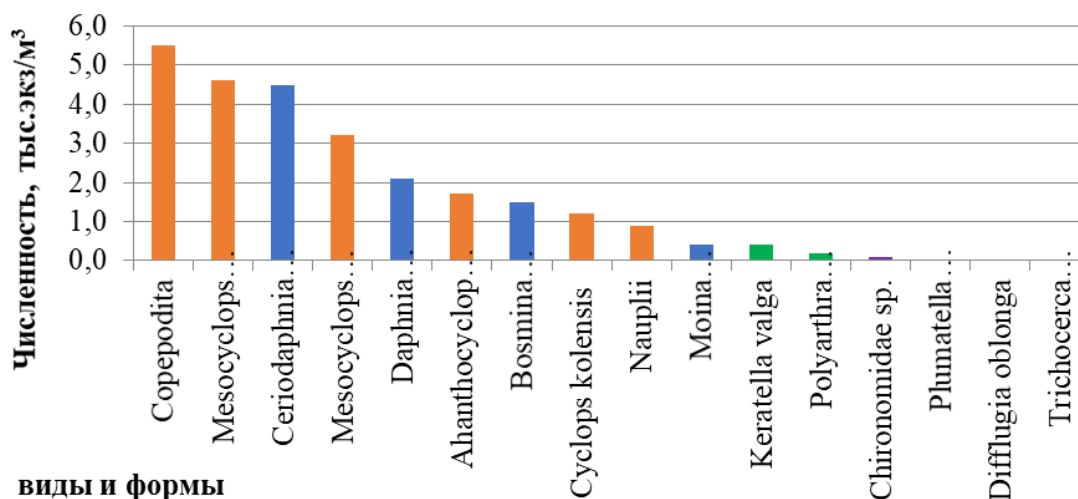


Рис. 1. Численность представителей зоопланктона Заинского водохранилища в августе 2022г.

По численности доминировали копепоидитные стадии веслоногих ракообразных, *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) (4,6 тыс. экз./м³) и *Ceriodaphnia affinis* (Dana, 1853) (4,0 тыс. экз./м³). Среди коловраток по численности доминировала *Keratella valga* (Gosse, 1851), ее численность в среднем по станциям составляла 0,4 тыс. экз./м³.

Биомасса зоопланктона по станциям варьировала от 0,05 г/м³ до 2,3 г/м³ и в среднем составляла 1,1 г/м³. Основу биомассы составляли ракообразные: на ветвистоусых ракообразных приходилось 49% от общей биомассы, на веслоногих – 48% (рис.2).

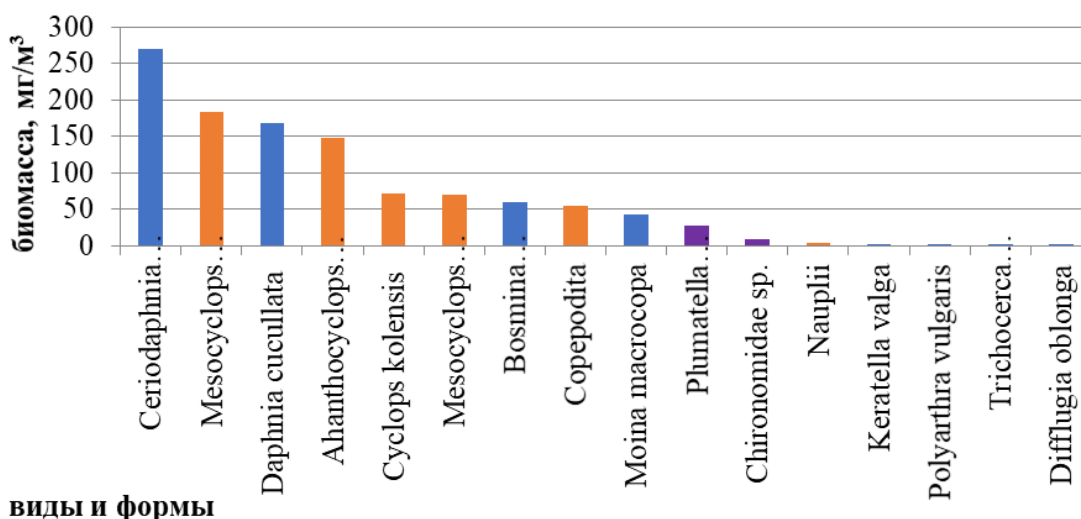


Рис. 2. Биомасса представителей зоопланктона Заинского водохранилища в августе 2022г.

По биомасса доминировали *Ceriodaphnia affinis* (Dana, 1853) (0,27 г/м³) и *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) (0,18г/м³). Среди коловраток по

биомассе так же доминировала *Keratella valga* (Gosse, 1851), ее биомасса в среднем по станциям составляла 1,9 мг/м<sup>3</sup>.

#### Источники

1. Калайда М.Л. Продукционная характеристика водоемов Среднего Поволжья как базы пастбищной аквакультуры (на примере Республики Татарстан): автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.10. М., 1998. 58 с.

2. Заинское водохранилище // TATARICA Татарская энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <https://tatarica.org/ru/razdely/priroda/gidrograficheskaya-set/vodohranilisha/zainskoe-vodohranilishhe> (дата обращения: 27.02.2023).

3. Любин П.А., Токинова Р.П. Закономерности изменения видового состава и количественной структуры зоопланктона в реке Зай // Российский журнал прикладной экологии. 2021. №4. С. 34-40.

4. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

УДК 564.14.17

### МОЛЛЮСКИ *DREISSENA* В СОСТАВЕ МАКРОЗООБЕНТОСА ЗАИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е.Г. Веселова

Науч. рук. канд. биол. наук М. Ф. Хамитова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[lizaveselova2001@gmail.com](mailto:lizaveselova2001@gmail.com)

В работе представлены результаты исследования моллюсков рода *Dreissena* и их размерных соотношений в составе макрозообентоса Заинского водохранилища.

**Ключевые слова:** моллюски, *Dreissena*, размерные структура, макрозообентос, Заинское водохранилище.

### *DREISSENA* SHELLS IN THE COMPOSITION OF THE MACROZOOBENTHOS OF THE ZAINSKY RESERVOIR

E.G. Veselova

KSPEU, Kazan, Russia

[lizaveselova2001@gmail.com](mailto:lizaveselova2001@gmail.com)

The paper presents the results of a study of molluscs of the genus *Dreissena*, their size ratios and their presence in the macrozoobenthos of the Zainsk reservoir.

**Keywords:** mollusks, *Dreissena*, dimensional features, macrozoobenthos, Zainsk reservoir.

Двустворчатые моллюски – моллюски, имеющие двустворчатую раковину, прикрывающую тело с боков. Голова у них не обособлена. Нога клиновидной формы [1]. Определительные признаки моллюска рода *Dreissena*: раковина треугольной формы, имеет окраску в виде коричневатых полос. Сплюснутый вентральный (брюшной) край раковины имеет маленькое отверстие, из которого свисают нити, которыми моллюск крепится к субстрату [2].

*Dreissena* может нарушать работу шлюзов и других гидротехнических сооружений, скапливаясь на них в больших количествах [1]. Моллюски рода *Dreissena* являются путешествующими моллюсками, которые расширяют свой ареал обитания путём прикрепления нитями к подводным частям лодок и кораблей. Такое поведение связано с особенностями образа жизни моллюска. Исключительная способность к расширению ареала, быстрая адаптация во вновь заселяемых водоёмах, высокая плодовитость даёт этому моллюску возможность для массового распространения в водоёмах [3].

На сегодняшний день *Dreissena* является обитателем многих рек, кроме северных районов, где температура для жизнедеятельности моллюсков слишком низкая (рис. 1).

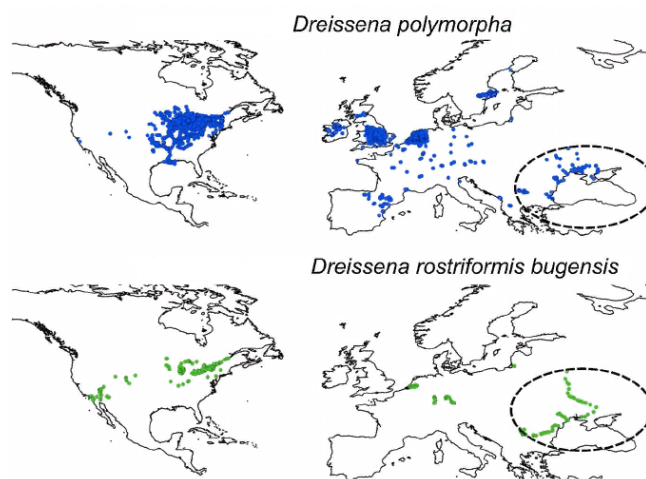


Рис. 1 Распространение моллюсков *Dreissena* [4].

Заинское водохранилище – водохранилище, расположенное на реке Степной Зай у города Заинск. Степной Зай впадает в Каму, а Кама сливается с Волгой. Моллюск *Dreissena* впервые был описан Палласом на реках Урал и Волга [3]. Таким образом, можно предположить, что в Заинское водохранилище моллюск *Dreissena* попал из Волги, переправляясь на водных частях кораблей. Также при исследовании в 2015

году видового состава реки Очёр, которая впадает в Каму, был найден моллюск *D. polymorpha* [5].

Мы проводили исследование макрозообентоса Заинского водохранилища. В пробах макрозообентоса Заинского водохранилища нами были найдены 2 вида моллюсков рода *Dreissena*, а именно *D. polymorpha* и *D. bugensis*.

Пробы собирались с разных глубин водоёма. Друзы дрейссены встречались на станциях с глубиной от 2,5 м и более. В прибрежье моллюски были отмечены только на бетонном волнорезе, единично. Моллюск *D. polymorpha* встречался на всех глубоководных станциях, *D. bugensis* только в зоне водозабора ЗайГРЭС.

Наибольшая численность моллюсков отмечалась на станциях у водозабора ЗайГРЭС (до 2450 экз./м<sup>2</sup>). Численность *D. polymorpha* здесь варьировала от 980 до 1980 экз./м<sup>2</sup>, *D. bugensis* от 480 до 1240 экз./м<sup>2</sup>.

Для моллюсков *Dreissena* характерно образование друз из взрослых особей и молоди. При исследовании моллюсков из проб макрозообентоса также проводилась сортировка особей по размерам. Размеры варьировались от 3 мм до 3 см. Мы распределили моллюсков по размерам на 6 групп. Среди *D. polymorpha* наибольшее число особей имели размеры 8-13 мм (до 30%), среди *D. bugensis* – 16-20 мм (до 43,5%) (рис. 2).

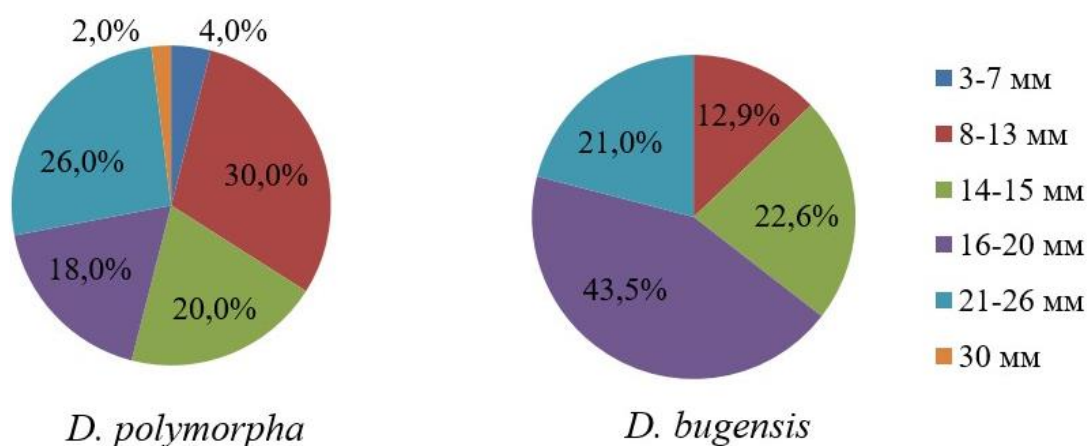


Рис.2 Размерная структура моллюсков *Dreissena* Заинского водохранилища у водозабора ЗайГРЭС

### Источники

1. Блохин Г. И. Александров В. А. Зоология. Санкт-Петербург: Лань, 2022. С. 572.

2. Скворцов, В. В. Методы биоиндикации с использованием донных беспозвоночных животных: учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: РГПУ им. А. И. Герцена, 2017. С. 32.

3. Михайлов Р. А. Эколого-фаунистический анализ пресноводных моллюсков Средней и Нижней Волги: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Тольятти, 2015. 188 с.

4. Quinn A., Gallardo B., Aldridge D.C. Global distribution and overlap of zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena r. bugensis*) mussels // Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems. 2013. 15с.

5. Крайнев Е.Ю. Изменения зоопланктона по продольному профилю не зарегулированного участка р. Очёр (бассейн р. Камы) ниже очёрского пруда // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2017. №3. С. 333-340.

УДК 589.5

## **МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО СООБЩЕСТВА В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ**

А.Е. Чернова

Науч. рук. канд. биол. наук, доцент Л.К. Говоркова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

govorkovagoncharenko@mail.ru

В работе рассматривается актуальность развития промышленных хозяйств в целом и замкнутых систем водообеспечения в частности. Изучение микробиоценозов выращиваемой рыбы, их среды обитания и используемых кормов является также актуальным исследованием. Микробиологический анализ помогает оценить содержание в этих компонентах замкнутой системы патогенных и санитарно-показательных микроорганизмов.

**Ключевые слова:** промышленное хозяйство, аквакультура, замкнутые системы водообеспечения, санитарно-показательные микроорганизмы, микробная популяция.



# MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF THE SANITARY CONDITION OF THE WATER COMMUNITY IN CLOSED WATER SUPPLY SYSTEMS

A.E. Chernova

KSPEU, Kazan, Russia

govorkovagoncharenko@mail.ru

The paper considers the relevance of the development of industrial farms in general and closed water supply systems in particular. The study of the microbiocenoses of farmed fish, their habitat and the feed used is also a topical study. Microbiological analysis helps to assess the content of pathogenic and sanitary-indicative microorganisms in these components of a closed system.

**Keywords:** aquaculture, industrial economy, closed water supply systems, microbial population, sanitary indicative microorganisms.

Рыбоводство является одной из древнейших форм хозяйственной деятельности человека. Сокращение численности ценных промысловых рыб в водоемах России, определяет интенсивное развитие аквакультуры, которое направлено на пополнение популяций рыб и организацию товарного рыбоводства.

В настоящее время актуальным является развитие индустриальных хозяйств. Особенно это касается рыбоводных систем с замкнутым циклом водообеспечения, которые позволяют выращивать круглый год различные виды аквакультуры. Выращивание объектов аквакультуры в таких установках не зависит от климатических условий. При соблюдении всех норм достигаются максимальные показатели роста и продуктивности гидробионтов, при этом наблюдается сбережение ресурсов и обеспечение экологической чистоты производственного процесса [1].

Для развития индустриального рыбоводства с использованием установок с замкнутым циклом водообеспечения необходимо не только на знания о биологии объекта аквакультуры, технология его выращивания, способы очистки воды, в которой он выращивается, сбалансированности и качества кормов, также нужно учитывать закономерности формирования микробных сообществ и их функционирование в замкнутых системах. Поэтому, изучение микробиоценозов выращиваемой рыбы, их среды обитания и используемых кормов является актуальным исследованием. Информация, полученная при таком изучении, возможно, сможет решить вопросы предупреждения заболеваний рыб и снизить отход рыбы от

болезней. От эпизоотического состояния напрямую зависит эффективность работы в рыбоводных хозяйствах. Болезни рыб являются причиной массовой их гибели в водоемах, могут причинять значительный экономический ущерб [2].

Микробная популяция замкнутых систем состоит из двух взаимосвязанных групп - микрофлоры гидробионта и микрофлоры окружающей среды. Особенность микрофлоры замкнутой системы - изменение ее видового состава. Происходить это может из-за того, что могут меняться условия окружающей среды, изменятся внешние факторы. Вследствие этого нормальная микрофлора может стать патогенной и вызывать различные заболевания [3]. Поэтому необходим постоянный контроль за обсемененностью микроорганизмами водной среды, самих рыб в целом и их органов в частности. Микробиологический анализ помогает оценить содержание в этих компонентах замкнутой системы патогенных и санитарно-показательных микроорганизмов. К ним относят общее микробное число, которое показывает количество микробов (мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных) в 1 мл жидкости, а также группа бактерий кишечной палочки, относящихся к семействам *Enterobacteriaceae*. Бактерии группы кишечных палочек рассматривается как показатель органического загрязнения, а их количество позволяет судить о степени загрязнения. Эти показатели являются одними из главных показателями санитарного состояния водного сообщества [4].

В замкнутых системах водооборота при искусственном кормлении рыбы огромное количество несъеденного корма оседает на дно бассейнов. Он может приводить к накоплению неразложившегося органического вещества. Биохимическая активность микроорганизмов влияет на кислородный режим, трансформацию биогенных элементов, а также на санитарное состояние в бассейнах. Активность бактериальных ферментов высока в начале процесса минерализации органического вещества и зависит от их биохимической активности [5]. Поэтому, показателем начальной стадии минерализации белковых соединений могут служить и количественные данные по аммонифицирующим, нитрифицирующим, денитрифицирующим микроорганизмам, изучение которых является особо актуальным.

### **Источники**

1. Григорьев С.С. Индустриальное рыбоводство: Биологические основы и основные направления разведения рыбы индустриальными методами // Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 2008. Ч.1. 186 с.

2. Новикова О.В. Санитария и гигиена в рыбоводстве // М.: Агропромиздат. 1991. 96 с.

3. Антипчук А.Ф., Юреева А.Ю. Водная микробиология // К.:Кондор. 2005. 255 с.

4. Артемова Т.З. Некоторые данные по изучению активности водной микрофлоры в ликвидации загрязнений зарегулирования водоемов // Вопросы санитарной бактериологии и вирусологии. М.: Медгиз. 1965. С. 17–26.

5. Киреева И.Ю. Биохимическая активность микроорганизмов воды и грунтов рыбохозяйственных водоемов аридной зоны // Научные ведомости. 2009, № 3(58). С. 13–19.

УДК 589.9

## ОСОБЕННОСТИ САДКОВ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ

А.С. Щеглова

Науч. рук. канд. биол. наук, доцент Л.К. Говоркова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sheglova.120@gmail.com

В статье рассматривается роль садковой аквакультуры в мире. В садковых хозяйствах садки являются основным рыбоводным оборудованием. В работе рассматриваются различные виды садков и их конструкций, особенности садков различных категорий.

**Ключевые слова:** аквакультура, садки, садковая линия, садковые конструкции.

## FEATURES OF CAGES OF VARIOUS CATEGORIES

A.S. Shcheglova

KSPEU, Kazan, Russia

sheglova.120@gmail.com

The article discusses the role of cage aquaculture in the world. The main fish-breeding equipment in cage farms are cages. The paper discusses various types of cages and their designs, features of cages of various categories.

**Keywords:** cages, aquaculture, cage structures, cage line.

В настоящее время в рыбной отрасли в целом и аквакультуре в частности уделяется повышенное и все более возрастающее внимание, поскольку эти направления представляют собой, с одной стороны, важные источники дохода и продуктов питания, а, с другой стороны, - позволяют расширить область наших знаний о водных экосистемах [1]. Одним из экономически выгодных и перспективных форм индустриального выращивания объектов аквакультуры является садковое рыбоводство. В настоящее время садковая аквакультура играет важную роль в процессе обеспечения людей продуктами рыбоводства, особенно из-за возможностей для интеграции видов и применение систем вблизи береговой линии, а также вероятности распространения дислокации садков в отдаленные от берега районы [2, 3].

За последнее время товарное садковое разведение распространяется на высокоценных рыб (с точки зрения рынка), питающихся комбикормами; особенно значимых хищных и всеядных, морских и пресноводных видов рыб. Системы садкового выращивания варьируются от традиционного семейного и контролируемого садкового выращивания обывденного в большинстве стран Азии до коммерческих садков, используемых во всем мире [4].

Садки являются основными рыбоводными устройствами в садковых хозяйствах. В них выращивают товарную рыбу, круглогодично содержат производителей, выращивают сеголеток и происходит зимовка посадочного материала. Садковые хозяйства бывают стационарные и плавающие.

Для стационарных садковых линий применяют оборудование, расположенные на водоемах с постоянным уровнем воды и отсутствием ветровых и волновых воздействий. Для установки садков в водоеме устраивается свайная эстакада, также на поверхности воды по краям от садкового каскада прокладывают мостки. Работают такие системы на открытой воде (зимой садки покрывают листовой влагостойкой фанерой, что при условии высокой плотности посадки рыбы исключает замерзание воды). Так, например, в побережных водах Азова используют гундары, на которых устанавливаются ставные неводы стационарных садков [4, 5].

Плавающие садки бывают различной конструкции. Такие садки способны выдерживать значительные колебания уровня воды, поэтому их можно устанавливать в прибрежной зоне с приливами и отливами, также в водоемах с переменным уровнем воды. Обслуживаются они с лодок, такие садки используют в основном на водохранилищах. Выделяют три группы плавающих садков по типу конструкции [2, 5].

Первая группа плавающих садков – садки на понтонах. На понтоны укладывают настилы из металла или дерева – дорожки, на которых обслуживаются садки, сделанные из дели. Обычно понтонные садки устанавливают на теплых водах: сбросных каналах и водоемах-охладителях АЭС, ГРЭС, так как зимой происходит деформация и разрушение понтонов. Агропромышленные садки изготавливают секциями по шесть штук. Поддерживающий на плаву секцию понтон состоит из заваренных с торцов герметичных стальных труб большого диаметра, соединенных конструкциями из металла. Вдоль труб проходят мостики – настилы. Размеры садков могут быть различными, чаще 4 х 3 х 3 м. Размер ячеей от 5 до 20 мм в зависимости от массы выращиваемой рыбы. Расстояние между садками около 1 м. Понтонные садки обычно устанавливают в водоемах площадью от 50 до 1000 га в местах, где глубина не менее 4-5 м, расстояние от берега – от 5 до 20 м. Желательно, чтобы в месте установки садковых линий была небольшая проточность. Оптимальным считается скорость потока воды 0,5-1,0 м/с.

Ко второй группе относятся секционные садки. В таких садках зарыбление и облов проводят на причале или с берега, при этом кормят рыбу с лодок. Секционные садки представляют собой ряд из шести соединенных металлическим каркасом, обтянутых делью, с мостиком для обслуживания. Плаучесть обеспечивается герметичными трубами диаметром 300-1000 мм.

Третья группа – ПАРС (плавающие автономные разборные садки). ПАРС состоят из легкого каркаса, выполненного из пластмассы, дерева или металла, и капроновой дели, с размерами садков 6 х 6 х 3 м. Обслуживают их также с лодок. Расстояние между ними составляет 10-20 м и от берега 50-70 м. ПАРС эксплуатируются в водоемах с любой ледовой обстановкой, при этом в период открытой воды применяют летний тип садков, на зиму рыбу пересаживают в специальные зимние садки, погружаемые под лед [2, 5].

#### **Источники**

1. Привезенцев Ю. А. Рыбоводство // М.: Мир. 2007. 456 с.
2. Александров С.Н. Садковое рыбоводство // М.: Сталкер. 2005. 270 с.
3. Козлов В.И. Современное состояние аквакультуры в мире и России // Рыбное хозяйство. 2013, № 4. С.78–80.

4. Эффективность выращивания радужной форели в условиях садкового хозяйства // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015, № 8 (153). С. 42–45.

5. Серпунин Г.Г. Искусственное воспроизводство рыб: учебник. // М.: Колос. 2010. 256 с.

УДК 504.4.054

## **НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.А. Громов

ФГАОУ ВО «САФУ имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск

antongromov56@gmail.com

В докладе рассматривается проблема отсутствия единых экологических стандартов в сфере жилищно-коммунального хозяйства Архангельской области. Рассмотрен вопрос отсутствия синхронизации мероприятий по строительству объектов централизованных систем водоснабжения и объектов централизованных систем водоотведения.

**Ключевые слова:** экология, водоснабжение, Архангельская область.

## **THE NEED TO IMPLEMENT ENVIRONMENTAL STANDARDS IN THE HOUSING AND COMMUNAL SERVICES OF THE ARKHANGELSK REGION**

A.A. Gromov

«NARFU named after M.V. Lomonosov», Arkhangelsk

antongromov56@gmail.com

The report examines the problem of the lack of uniform environmental standards in the housing and communal services of the Arkhangelsk region. The issue of the lack of synchronization of measures for the construction of centralized water supply systems and centralized wastewater disposal systems is considered.

**Keywords:** ecology, water supply, Arkhangelsk region.

В наши дни многие страны и крупные компании вносят свой вклад в улучшение экологической обстановки на планете [1]. В Российской

Федерации по инициативе Президента был запущен национальный проект «Экология», который направлен на улучшение экологической ситуации в стране, на решение экологических проблем, которые накопились за долгие годы отсутствия эффективных решений в области экологии.

Вместе с тем в рамках национального проекта «Жилье и городская среда» в стране реализуется федеральный проект «Чистая вода», направленный на обеспечение населения качественной питьевой водой [2].

Отсутствие синхронизации мероприятий в сфере водоснабжения с мероприятиями в сфере водоотведения в большинстве случаев приводит:

1. К необходимости планирования избыточных мероприятий по водоподготовке в связи с негативной антропогенной нагрузкой на окружающую природную среду (загрязнение поверхностных и подземных водоисточников канализационными сточными водами);

2. к планированию на водоочистных сооружениях избыточных и дорогостоящих мероприятий по сбору и утилизации промывных вод в связи с отсутствием централизованных систем водоотведения;

3. к росту финансовой нагрузки на потребителей (население) в связи со значительным ростом тарифов на водоснабжение (от качества исходной воды в водоисточнике зависят эксплуатационные расходы на водоподготовку) и т.д.

В настоящее время повсеместно, где присутствует антропогенное влияние, начинается активное внедрение принципа устойчивого развития и ответственного инвестирования или ESG (Environmental – окружающая среда, social – социальный эффект, governance – эффективность управления) [1]. Сейчас наша страна находится лишь на первом этапе внедрения принципов ESG в реализуемые проекты, и очень важно эту тенденцию продолжать.

Основные проекты, реализуемые по стандартам ESG в России на данный момент – региональные, что позволяет программе быть причастной к общим целям и идеям внедрения данных принципов [3]. В случае с нашей программой, более всего приветствуется социальный эффект её реализации, так как после выполнения всех поставленных задач уровень и качество оказываемых государством услуг по водоотведению в арктическом регионе непременно пойдет вверх. С точки зрения ESG проекты по развитию коммунальной инфраструктуры идеально вписываются в общую логику этих стандартов.

Для оценки важности повышения качества оказываемых услуг можно привести слова жителей одного из муниципальных районов области: «В связи с отсутствием в районном центре очистных сооружений в районе повышается угроза социального взрыва». Учитывая, что ответственность за эффект от оказываемых гражданам услуг лежит на

государстве, необходимо провести объемную работу по улучшению качества работы объектов систем водоотведения региона.

Долгосрочная эффективность проектов, которые оцениваются по стандартам ESG гораздо выше, чем у стандартных проектов. Это связано с тем, что показатели, которые рассматриваются при оценке проекта по новым стандартам, напрямую влияют на социальное благополучие граждан, что, в свою очередь, повышает их желание в дальнейшем жить и развиваться в нашем регионе.

### **Источники**

1. Козырев Н.А., Маркина А.М., Перспективы развития принципов управления ESG в России // Вестник евразийской науки. 2022. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivu-razvitiya-printsipov-upravleniya-esg-v-rossii> (дата обращения: 25.02.23).

2. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/140228/> (дата обращения: 25.02.23).

3. Национальная инициатива по внедрению стандартов ESG. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russia-esg.ru/> (дата обращения: 25.02.23).

УДК 639. 371.374

## **РАЗМЕРНО-ВЕСОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЛЬСКОЙ ТИЛЯПИИ (*Oreochromis niloticus*) В УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ В МАЛЫХ УЗВ**

Г.Д. Ибрагимова

Науч. рук. д-р биол. наук, профессор М.Л. Калайда  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
[gulnaz.ibragimova777@gmail.com](mailto:gulnaz.ibragimova777@gmail.com)

В данной работе рассмотрены размерно-весовые характеристики нильской тилляпии (*Oreochromis niloticus*) при ее выращивании в системе замкнутого водоснабжения. Показано, что в условиях истощения природных ресурсов Земли и росте численности населения на планете тилляпии могут стать объектами индустриальной аквакультуры, включая перспективы развития аквакультуры в замкнутом пространстве инопланетных поселений при освоении космического пространства.

**Ключевые слова:** установка замкнутого водоснабжения (УЗВ), перспективный объект, продукция аквакультуры, нильская тилляпия (*Oreochromis niloticus*).



# SIZE AND WEIGHT CHARACTERISTICS OF THE NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) IN CONDITIONS OF CULTIVATION IN SMALL ULTRASOUND

G.D. Ibragimova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Gulnaz.ibragimova777@gmail.com

In this paper, the size and weight characteristics of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) are considered when it is grown in a closed water supply system. It is shown that in conditions of depletion of the Earth's natural resources and population growth on the planet, tilapia can become objects of industrial aquaculture, including prospects for the development of aquaculture in the confined space of alien settlements during the exploration of outer space.

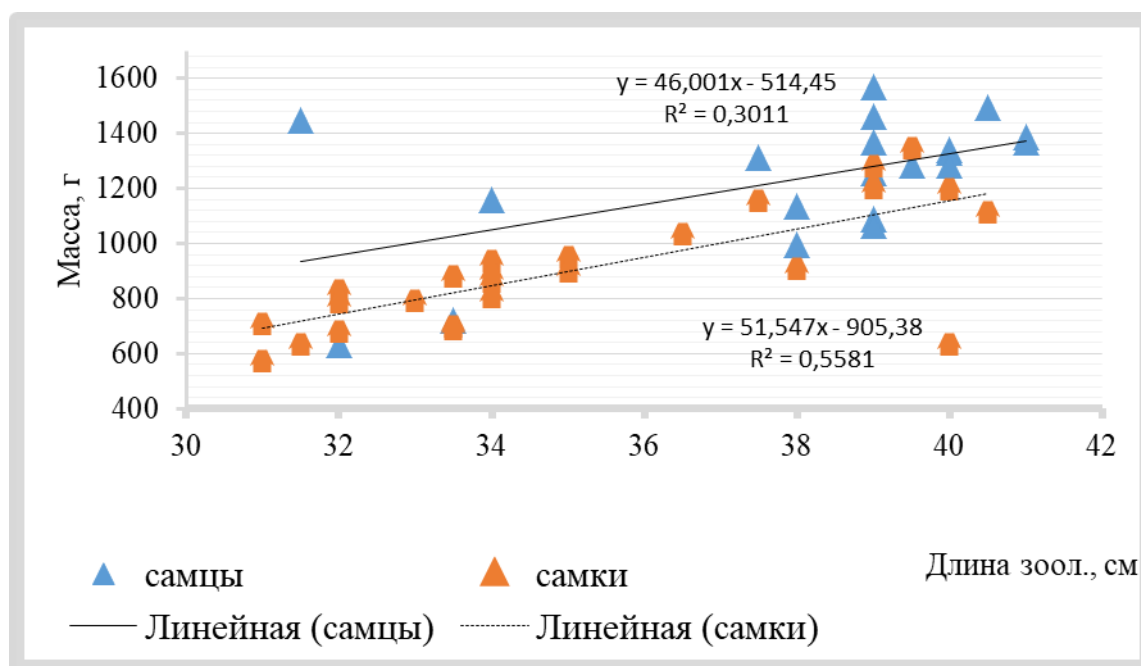
**Keywords:** installation of closed water supply, promising object, aquaculture products, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*).

На сегодняшний день на планете Земля проживают уже более 8 миллиардов людей [1]. При этом площадь суши расширяется, а водное пространство сокращается. За последние тридцать лет под водой оказались 115 тыс.км<sup>2</sup> суши, при этом осушено около 173 тыс.км<sup>2</sup> водной поверхности (по данным журнала Nature Climate Change) [2]. В этих условиях актуально вторичное использование воды – установок замкнутого водообеспечения, в которых бассейны с рыбой заполняются однократно и затем подпитываются на 4-6%. Помимо увеличения антропогенной нагрузки на планету Земля современной тенденцией является освоение космического пространства. Рассматриваются задачи не только полетов к другим планетам, но и задачи создания колоний поселений. Марс – основной претендент на роль новой Земли [3]. Для жизнеобеспечения людей будет не просто завести животных, и колонизаторы рискуют остаться без мясных продовольствий [3,4]. Белок, содержащийся в рыбе может заменить животный белок. Белок содержащийся в рыбе быстро и легко усваивается при этом также рыба не уступает по пищевым ценностям. В рыбе содержится от 0,1 до 33% жиров и от 13 до 23% белков, которые быстро усваиваются [5,6].

Среди перспективных объектов выращивания - нильская тилapia (*Oreochromis niloticus*), которая выделяется среди других видов немалыми размерами - предельная длина тела – 60 см, предельная масса – 4,3 кг, высокой гибкостью по отношению к факторам внешней среды,

неприхотливостью, высокой скоростью роста (среднесуточный прирост 3 г) и выживаемостью (80–98 %) [7,8].

С 2020 года в ФГБОУ ВО «КГЭУ» на базе кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» проводится экспериментальное выращивание нильской тилапии. Исследования размерно-весовых характеристик нильской тилапии, выращиваемой в экспериментальной УЗВ позволили построить кривые, представленные на рисунке.



Размерно-весовые характеристики *Oreochromis niloticus* в период с 13 декабря 2022 года по 27 января 2023 года

Из данных рисунка видно, что в период с декабря 2022 года по январь 2023 года тилапии выросли как по линейным размерам, так и по массе: среднесуточный прирост у самок составил 12 г., у самцов – 8,9 г. В возрасте 6 мес. Среднесуточные приросты варьировали от 0,8 до 1,3 г. Таким образом, тилапии в возрасте старше года имеет более высокую скорость роста. Работа была выполнена по гранту «Разработка биотехнологии выращивания нильской тилапии на базе установки замкнутого цикла» (договор № 28-22 от 17.09.2022).

#### Источники

1. Население Земли // countrymeters URL: <https://countrymeters.info/ru/World> (дата обращения: 25.02.2023).

2. Увеличение суши на Земле // интерфакс URL: <https://www.interfax.ru/world/525606> (дата обращения: 25.02.2023).

3. Калайда М.Л., Ибрагимова Г.Д. Аквакультура как перспективная космическая биотехнология // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация". - Казань: Казанский государственный энергетический университет (Казань), 2022. - С. 516-519.

4. Разумная жизнь во Вселенной URL: [http://contur.ucoz.ru/0123ALCH/XC20146/Mizun\\_Razumnaya\\_zhizn\\_vo\\_Vselempnoy.pdf](http://contur.ucoz.ru/0123ALCH/XC20146/Mizun_Razumnaya_zhizn_vo_Vselempnoy.pdf) (дата обращения: 25.02.23).

5. Marina Kalaida, Madina Khamitova, Andrey Kalaida, Svetlana Borisova, Valeria Babikova. Elements of circular technologies in aquaculture on the waters of energy facilities E3S Web of Conferences 288, 01048 (2021) SUSE-2021 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801048>.

6. М.Л. Калайда, С.Д. Борисова, Е.С. Пиганов, Ф.А. Исмагилов, А.А. Калайда Совершенствование биотехнологии выращивания сомов (SILUROIDEA) – *Silurus glanis* L., *Clarias gariepinus*, *Pangasius sutchi* на водах объектов энергетики //Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021,. №2(20).-С.39-51.

7. Калайда М.Л., Петрова А.Ю. Особенности весового и линейного роста нильской тиляпии в системе замкнутого водоснабжения // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика. - Казань: Казанский государственный энергетический университет (Казань), 2022. - С. 386-388.

8. Боронецкая О.И., Тетдоев В.В. Рыбоводная и морфофизиологическая характеристика нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) // Вестн. РУДН. 2008. С. 12–16.

УДК 639.3.06

## **СПЕЦИФИКА АВТОМАТИЗАЦИИ КОРМЛЕНИЯ АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА В АКВАКУЛЬТУРЕ ФЕРМЕРСКИХ УЗВ**

А.А. Калайда, А.В. Душин

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. М.Л. Калайда

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[charict131@gmail.com](mailto:charict131@gmail.com)

В работе описана специфика задачи оптимального кормления африканского клариевого сома в фермерских хозяйствах и пригодность различных систем автоматизации кормления для малых аквакультурных хозяйств.

**Ключевые слова:** африканский клариевый сом, кормление, экструдированные корма, автоматизация.

# SPECIFICS OF AUTOMATION OF FEEDING OF AFRICAN CLARIID CATFISH IN FARM RAS AQUACULTURE

A.A. Kalaida, A.V. Dushin  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
charict131@gmail.com

The paper describes the specifics of the task of optimal feeding of African catfish in farms and the suitability of various feeding automation systems for small aquaculture farms.

**Keywords:** african clariid catfish, feeding, extruded feed, automation.

Африканский клариевый сом является одним из перспективных объектов аквакультуры. Благодаря биологическим особенностям вида при выращивании клариевого сома удается достичь больших плотностей посадки (до 400 кг/м<sup>3</sup>), сохраняя при этом высокие темпы роста, а также, сделать производство клариевого сома менее требовательным к технологическому оборудованию относительно большинства других объектов товарной аквакультуры [1,2]. Эти факторы делают вид привлекательным не только для крупномасштабных предприятий, но и для малых фермерских хозяйств, которые, в силу климатических особенностей России, в большинстве своем используют технологию УЗВ для товарного выращивания клариевого сома.

Одной из важных задач при товарном выращивании клариевого сома является своевременное кормление в достаточных объемах [3]. Для кормления целесообразно использовать экструдированные корма высокого качества. Такие корма обладают низким кормовым коэффициентом, значительно снижают нагрузку на систему очистки воды, но требуют рационального применения в силу высокой, относительно пеллетированных и других видов кормов, стоимости [4]. Исследование предложений на рынке оборудования для аквакультуры и декоративного рыбоводства выявило, что большая часть предложенных типов оборудования не пригодна для использования в малых, фермерских УЗВ. Кормушки маятникового типа требуют ручной загрузки корма несколько раз в день, что также является нежелательным для малого производства. Автокормушки промышленных типов рассчитаны на большие объемы кормления, поставляются вместе со специализированными системами управления и обладают слишком высокой стоимостью, чтобы оправдать их установку в фермерском хозяйстве. Кормушки, применяемые при декоративном выращивании, обладают недостаточной вместимостью и не

могут работать с кормами в виде крупных гранул (4-10 мм). Для исследования эффективности нами была приобретена кормушка «Акварост» (см. рисунок), которая представляет собой распечатанный на 3D принтере полимерный корпус с подключенным к сменной лопасти электродвигателем с питанием 220В [5]. Нами была использована программируемая розетка с возможностью создания расписания на неделю с точностью до 1 минуты. Испытания кормушки показали, что расход корма при различных вариантах режима работы варьирует от 50 до 120 г/мин. Такой расход позволяет достаточно точно регулировать подачу и дозировку кормов.

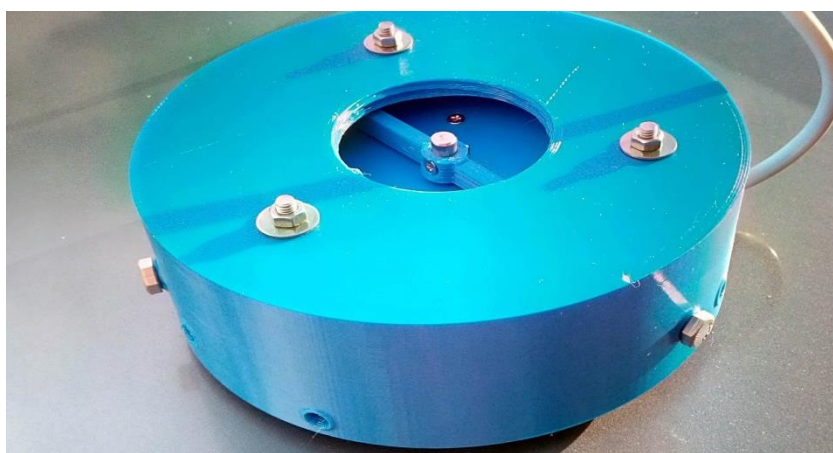


Рисунок. Автоматическая кормушка «Акварост»

Применение кормушки «Акварост» для кормления стада производителей африканского клариевого сома на базе лаборатории «Искусственного воспроизводства рыб и аквапоники» показало, что низкая скорость подачи порции корма требует выработки нового типа кормового поведения у клариевых сомов. Особи, привыкшие к разовому вносу кормов, быстро реагируют на начало подачи корма, активно конкурируют за него, но быстро теряют интерес и рассредоточиваются по бассейну до прекращения подачи кормов.

### Источники

1. Власов В.А. Выращивание африканского сома в промышленных условиях // В.А. Власов, М. Фатгалахи, А.О. Касумян // Современное состояние и перспективы развития аквакультуры в России. – М.: МСХ РФ. – 2007. – С. 41-50.

2. Калайда М.Л., Пиганов Е.С., Калайда А.А. Биологические особенности клариевого сома *clarias gariepinus* при задачах искусственного

воспроизводства // мат. межд. конф. Современное состояние и развитие аквакультуры: экологическое и ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов разведения, технологии выращивания. Новосибирск: НГАУ. 2020. С. 97-100.

3. Власов В.А. Результаты выращивания африканского сома при различных условиях кормления и содержания // Известия ТСХА. – М., 2009. Вып. 3. – С. 136-146.

4. Калайда М.Л., Пиганов Е.С., Калайда А.А. Биологические особенности клариевого сома *Clarias gariepinus* при задачах искусственного воспроизводства // мат. межд. конф. Современное состояние и развитие аквакультуры: экологическое и ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов разведения, технологии выращивания. Новосибирск: НГАУ. 2020. С. 97-100.

5. Акварост [Электронный ресурс]. URL: <https://kormushki-uzv.ru/product/kormushka-avtomaticheskaya-uzv/#page-content> (дата обращения: 04.03.2023).

УДК 574.5

## **ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОГО СОСТАВА ПЕРИФИТОНА В БЛОКЕ ВОДООЧИСТКИ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

В.В. Бабикова

Науч. рук. д-р биол. наук, проф., зав. каф. ВБА М.Л. Калайда

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

lera.babikova.1995@mail.ru

В статье рассмотрены качественная структура, количественные характеристики групп перифитона и их соотношение на разных участках блока водоочистки рыбоводной установки замкнутого цикла (УЗВ). Наибольшее развитие перифитона отмечено в емкости-накопителе перед фильтром механической очистки воды, а наименьшее – в биофильтре рыбоводной установки.

**Ключевые слова:** установка замкнутого цикла (УЗВ), блок водоочистки, биоценоз, перифитон.

# FEATURES OF THE SPECIES COMPOSITION OF PERIPHYTON IN THE WATER PURIFICATION UNIT OF THE CIRCULATED WATER SUPPLY UNIT

V.V. Babikova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

lera.babikova.1995@mail.ru

The article considers the qualitative structure, quantitative characteristics of periphyton groups and their ratio in different parts of the water treatment unit of a closed-cycle fish-breeding plant (RAS). The greatest development of periphyton was noted in the storage tank in front of the mechanical water purification filter, and the smallest - in the biofilter of the fish-breeding installation.

**Keywords:** closed cycle plant (RAS), water treatment unit, biocenosis, periphyton.

В процессе очистки воды перифитон в блоке водоочистки рыбоводной установки играет важную роль в удалении органических загрязнений [1, 4]. Его изучение представляет значительный интерес для прогнозирования работы рыбоводной установки.

Материалом для исследования послужили пробы перифитона с 60 см глубины, отобранные еженедельно в октябре 2022 г.: 1 – из емкости накопителя фильтра механической очистки, 2 – в биофилтре, 3 – в емкости – накопителе перед бассейнами с рыбой (см. рисунок). Анализ проб осуществлялся путем микроскопирования, гидробионты определялись живыми по таблицам и рисункам по [2,3,5].

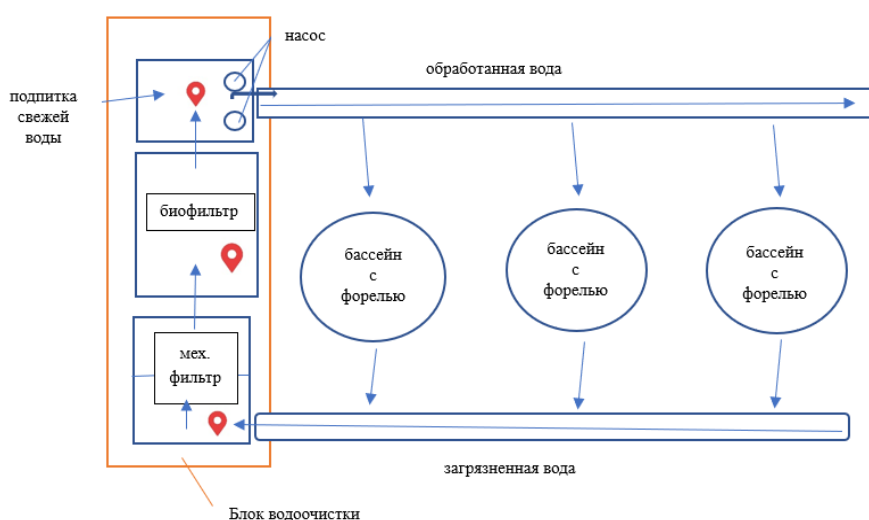



Схема УЗВ:  – точки размещения экспериментальных пластин

Качественный и количественный состав групп перифитона на разных участках блока водоочистки представлен в таблице 1.

Проведенное исследование выявило в составе перифитона блока водоочистки 35 видов и форм организмов: инфузории, коловратки, олигохеты, растительные жгутиконосцы и раковинные корненожки, амёбы, плоские и круглые черви, тихоходки, водные клещи и личинки состав перифитона на разных участках блока водоочистки различен. Большое разнообразие перифитона и максимальные значения его численности отмечены в приямке с водой, загрязненной продуктами жизнедеятельности рыб – перед фильтром механической очистки, наименьшие – в биофильтре (табл.1).

Наибольшее развитие в составе перифитона имеют простейшие и коловратки. Можно отметить, что максимальное разнообразие и численность простейших – на участках с наиболее загрязненной метаболитами рыб водой, а коловраток – на участках после механической и биологической очисток.

Таблица 1

Характеристика перифитона на станциях блока очистки

Группы гидробионтов	Кол-во видов и форм			Численность, тыс. экз/м <sup>2</sup>		
				Средняя численность, тыс. экз/м <sup>2</sup>		
	Станции			1	2	3
	1	2	3	1	2	3
Простейшие	23	10	12	<u>30–570</u> 443,3	<u>80–270</u> 163,3	<u>200–230</u> 216,6
Коловратки	3	3	4	<u>40–140</u> 76,6	<u>30–90</u> 63,3	<u>90–210</u> 140,0
Олигохеты	1	0	2	<u>10–50</u> 30,0	0	<u>30–70</u> 50,0
Круглые черви	1	1	1	<u>10–20</u> 16,6	<u>0–10</u> 3,3	<u>20–30</u> 26,6
Хирономиды	1	1	1	<u>0–50</u> 16,6	<u>20–50</u> 30,0	<u>0–40</u> 16,6
Водяные клещи		1	1	–	<u>0–10</u> 3,3	<u>0–10</u> 3,3
Тихоходки	1	1	1	<u>0–10</u> 6,6	–	<u>10–30</u> 20,0
Всего	30	17	22	<u>360–840</u> 589,7	<u>130–430</u> 263,2	<u>350–620</u> 473,1

Источники



1. Калайда М.Л., Хамитова М.Ф., Калайда А.А., Борисова С.Д., Бабилова В.В. Элементы циркулярных технологий в аквакультуре // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2021, Т.2. С. 76–89.

2. Липеровская Е.С. Гидробиологические индикаторы состояния активного ила и их роль в биологической очистке сточных вод // Итоги науки и техники ВИНТИ. М., 1976. Т. 4. С. 169–217.

3. Кутикова Л. А. Фауна аэротенков (Атлас) / Кутикова Л.А // Ленинград: Наука, 1984. 264 с.

4. Жмур Н. С., Очирова М. Н.. Рекомендации по проведению технологического и гидробиологического контроля на биологических фильтрах. – Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР. Москва, 1987.

5. Мажейкайте С. И.. Ресничные инфузории / Мажейкайте С.И.. // Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / Под ред. Л.А. Кутиковой, Я.И. Старобогатова // Ленинград, Гидрометеиздат, 1977. С. 46–98.

УДК 639.51

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ АВСТРАЛИЙСКИХ КРАСНОКЛЕШНЕВЫХ РАКОВ В ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СЕКЦИЯХ**

Ф.А. Исмагилов

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. М.Л. Калайда

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, РТ

f9033422551@yandex.ru

В статье рассмотрены перспективные объекты аквакультуры – австралийские красноклешневые раки, обеспечивающие всё большие темпы в производстве продукции. В работе рассмотрены размерно-весовые характеристики, выживаемость и условия содержания раков.

**Ключевые слова:** аквакультура, секции, австралийские красноклешневые раки, выращивание, каннибализм.

# RESULTS OF EXPERIMENTAL CULTIVATION OF AUSTRALIAN RED-CLAW CRAYFISH *CHERAX QUADRICARINATUS* IN INDIVIDUAL SECTIONS

F.A. Ismagilov  
KSPEU, Kazan, Russia  
f9033422551@yandex.ru

The article considers perspective aquaculture objects - Australian red-claw crayfish, providing an increasing rate of production. The article considers dimensional-weight characteristics, survival and conditions of keeping cancers.

**Keywords:** aquaculture, sections, Australian red-claw crayfish, cultivation, cannibalism.

Известно [1], что более 40% рыбной продукции потребляемой человеком выращено в аквакультуре. Происходит расширение спектра деликатесных видов гидробионтов, к которым и относятся ракообразные.

Особый интерес для выращивания в промышленных аквакультурных хозяйствах представляет австралийский красноклешневый рак [2]. Этот вид активно осваивается аквакультурными предприятиями в связи с его особенностями: высокими темпами роста, высокой долей деликатесного мяса от массы тела, хорошей выживаемостью в промышленных хозяйствах [2], однако, имеются и проблемы – каннибализм, для уменьшения которого применяются различные укрытия и технологии [3].

В ФГБОУ ВО КГЭУ на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» был проведен эксперимент для определения возможности содержания австралийских раков в индивидуальных секциях. Эксперимент проводился с 25.05.2022 по 30.09.2022 г. на двух экспериментальных группах раков из разных поколений. Первая группа раков сошла с брюшка самки 12.11.2021 г., икринки были прикреплены на плеоподы 10.09.2021 г. Вторая группа - сошла с брюшка самки 01.01.21 г., икринки были прикреплены на плеоподы 30.10.2020 г. Возраст первой группы раков в начале эксперимента - 6,5 мес, в конце – 10,5 мес., у второй группы – в начале – 16,5 мес., в конце – 20,5 мес.

В эксперименте раки содержались в отдельных секциях с размерами 20x10x6 см (рис. 1). Секции расположены в общей емкости над бассейном с рыбами с организованным током воды за счет работы насоса (1,43 л/мин) из рыбоводного бассейна и после секций с раками возвращалась в бассейн. Первая группа раков была посажена в ячейки с 1 по 9, а вторая группа была посажена в ячейки с 10 по 18. Кормление раков проводилось

осетровыми кормами SUPREME-15 фирмы Correns, размер гранул 4,5 мм. Норма кормления составляла 4 % от массы тела.



Рис. 1. Австралийские красноклешневые раки, сидящие в секциях

Во время проведения эксперимента проводился контроль следующих основных показателей, таких как выживаемость и размерно-весовые характеристики (рис. 2). Масса раков измерялась на электронных весах ЕК-200i (НПВ-200 г) с точностью до 0,01 г. Зоологическая и промысловая длина раков измерялась штангенциркулем с точностью до 0,05 мм. Результаты проведенного эксперимента представлены на рисунке 2.

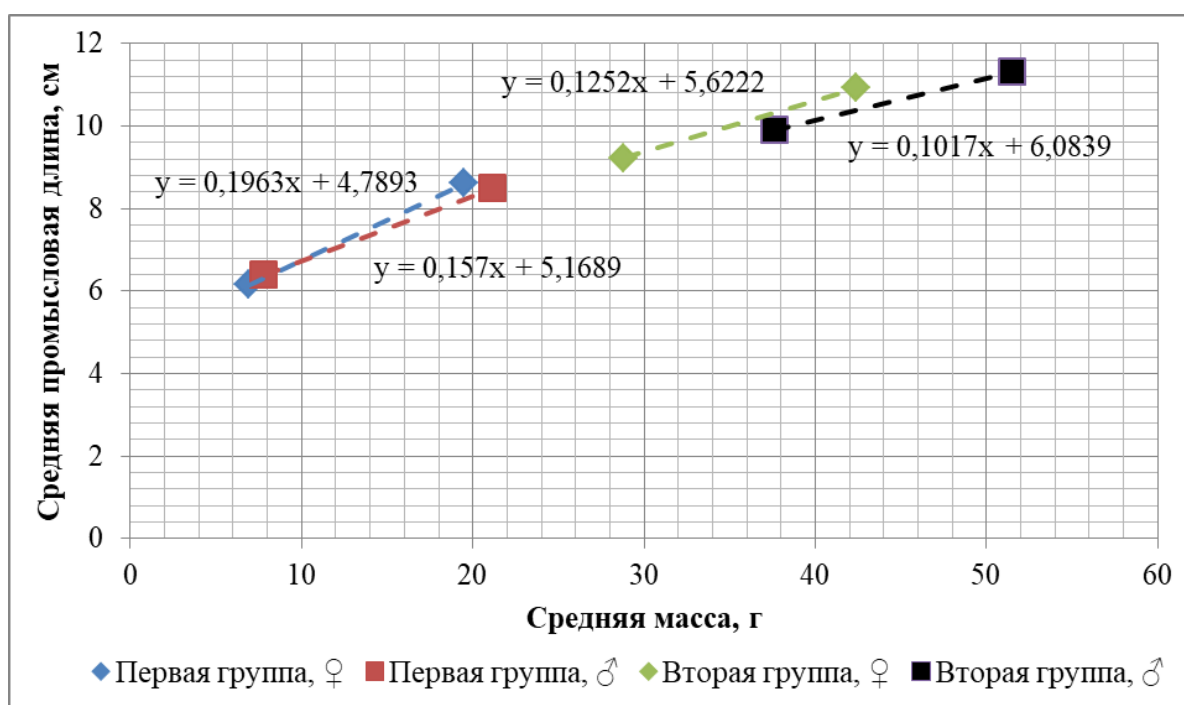


Рис. 2. Зависимость массы тела от промысловой длинны у самок и самцов австралийских раков в начале и в конце эксперимента

За время проведения эксперимента выживаемость раков составила 100%, в то время как в условиях лоткового содержания – 71,9% [4], таким образом, содержание раков в отдельных секциях позволяет избежать каннибализма.

Масса раков из первой группы увеличилась в среднем в 2,84 раза; масса раков из второй группы увеличилась в среднем в 1,5 раза; зоологическая длина раков из первой группы увеличилась в среднем в 1,37 раза; зоологическая длина раков из второй группы увеличилась в среднем в 1,16 раза. Наибольший среднесуточный прирост массы тела у раков первой группы составил – 0,11 г/сут, у второй группы – от 0,114 до 0,12 г/сут.

### **Источники**

1. ФАО. 2020. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020. Меры по повышению устойчивости. Рим, ФАО. <https://doi.org/10.4060/ca9229ru>.

2. Калайда М.Л. Некоторые особенности выращивания ракообразных в аквабиотехнологиях на водах объектов энергетики / Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова, С.Д. Борисова, Ф.А. Исмагилов. – №3(21) 2021. – С. 9-21. ISSN 2542-0283

3. Marina Kalaida, Madina Khamitova, Svetlana Borisova. Some features of crustacean cultivation aquabiotechnology on the waters of energy facilities E3S Web of Conferences 288, 01047 (2021) SUSE-2021

УДК 621.56.002

## **РЫБОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА ТЭС – ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

А.Р. Саетов

Науч. рук. проф. М.Л. Калайда

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

saetov67@mail.ru

В тезисе рассмотрены рыбозащитные сооружения (РЗС) на водозаборах тепловых электростанций как пример эффективного решения проблемы сохранения водных биологических ресурсов (ВБР) в водоемах-охладителях. Эффективность предотвращения попадания рыб и иных водных биоресурсов в водозаборы нормируется российскими экологическими законами. Допустимая величина нормативной

эффективности работы РЗС должна составлять не менее 70%. Современные отечественные рыбозащитные сооружения обеспечивают выполнение данных нормативов. Одним из наиболее эффективных в экологическом отношении видов РЗС с наименьшим негативным воздействием на биоценоз водоема являются рыбозащитные сооружения типа «водовоздушная завеса». Проект РЗС на основе водовоздушной завесы был реализован на водозаборных сооружениях береговых насосных станций (БНС) филиала ОАО «Татэнерго» Заинская ГРЭС предприятием, на котором трудится один из авторов данной статьи.

**Ключевые слова:** водозабор, рыбозащитное сооружение, водные биоресурсы, водоем, эффективность, экология, электростанция.

## **FISH PROTECTION FACILITIES AT THERMAL POWER PLANTS – AN EFFECTIVE SOLUTION TO THE PROBLEM OF CONSERVATION OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES**

A.R. Saetov  
KSPEU, Kazan, Russia  
saetov67@mail.ru

In the thesis, fish protection structures (REDS) at the water intakes of thermal power plants are considered as an example of an effective solution to the problem of conservation of aquatic biological resources (VBR) in cooling reservoirs. The effectiveness of preventing fish and other aquatic biological resources from entering water intakes is regulated by Russian environmental laws. The permissible value of the regulatory efficiency of the RPC should be at least 70%. Modern domestic fish protection facilities ensure compliance with these standards. One of the most environmentally effective types of REE with the least negative impact on the biocenosis of the reservoir are fish protection structures of the "water-air curtain" type. The RZS project based on a water-air curtain was implemented at the water intake facilities of coastal pumping stations (BNS) of the branch of JSC Tatenergo Zainskaya GRES by the enterprise where one of the authors of this article works.

**Keywords:** water intake, fish protection facility, aquatic bioresources, reservoir, efficiency, ecology, power plant.

Тепловые электростанции при производстве электрической и тепловой энергии применяют большие объёмы водных ресурсов для охлаждения теплообменных аппаратов. При заборе воды в насосное оборудование с водными массами неминуемо забирает рыбные особи (и, что особенно неприятно, ее молодь), а также иные водные и подводные биоресурсы, чем приносит огромный урон экологическому состоянию водоемов – источников

воды. Главной причиной попадания рыб в водозаборы является инертный снос ее водным потоком. Поэтому по законодательства Российской Федерации водозаборы всех электрических станций, в том числе конденсационных, обязаны быть обеспечены сооружениями рыбозащитных устройств. Эффективность предупреждения проникания рыб и других водных биоресурсов в насосное оборудование водозаборных устройств по российским нормам должна быть не менее 70% [1, 2].

Рыбозащитная эффективность (Кэф) это отношение всего объема рыбных особей, задержанных рыбозащитным устройством, к числу рыбных особей, которые попали бы в водозабор в случае неимения такого сооружения, выраженное в количестве процентов [1, 2]. Эффективность функционирования РЗС устанавливается производством ихтиологических исследований, проведенных узкоспециализированными структурами, использующими специальное оборудование для проведения подобных работ [2, 3]. Такие исследования ихтиофауны дают возможность подсчитать эффективность функционирования РЗС [4]. Для мониторинга и освоения дополнительных способов улучшения эффективности работы рыбозащитных устройств измеряются существующие характеристики работающих водозаборов электростанции.

Ихтиологические исследования по определению эффективности РЗС были проведены на береговых насосных станциях №1–3 ЗайГРЭС [5]. При заборах ихтиологических проб использованы сети с ячейей 10, 22, 30 и 70 мм, расположенные на Заинском водохранилище перед РЗС (устанавливались перед подводными каналами к насосным станциям). Оценка результатов сбора и подсчета рыб и ВБР на БНС (после РЗС) производилась в течение круглых суток по мониторингу за ВБР и рыбами, проникшими в подводный канал и попавшими в водоочистные машины на береговых станциях в сороудерживающие вращающиеся сетки [6, 7]. Для непосредственной проверки среды обитания рыб, их кормовой базы во время забора материала для ихтиологических исследований во все сезоны года параллельно забирались и гидробиологические пробы [8].

Исследования проводились на РЗС Заинской ГРЭС в течение четырех сезонов (весна, лето, осень, зима). Было выявлено – наибольший объем рыбы на БНС собирается в летний период, а наименьшее количество – в зимне-осенний и весенний периоды. Коэффициент эффективности рыбозащиты (Кэф) рыбозащитных сооружений, смонтированных на береговых насосных станциях ЗайГРЭС, подсчитывался по расхождению концентрации рыбы перед рыбозащитными сооружениями (на Заинском водохранилище) и после рыбозащитных сооружений (на береговых насосных станциях) [1, 2, 9, 10].

По произведенным подсчётам результат эффективности рыбозащиты (Кэф) рыбозащитного сооружения получился: весной – 83,7%; летом – 83,4%; осенью – 83,3%; зимой – 97,2%. Соответственно, по исследованиям и расчетам, произведенным с учетом факторов внешней среды в разные временные сезоны года показатель эффективности работы РЗС, установленное на БНС филиала АО «Татэнерго» – Заинская ГРЭС, получился 86,9%, что значительно превышает показатели нормативной инструкции (не менее 70%) [1, 2, 11].

Несмотря на то, что необходимый результат достигнут, есть определенные минусы, так как необходим не разовый, а постоянный контроль эффективности работы РЗС, что на данный момент невозможно, так как такие узкоспециализированные работы дорого стоят, невыполнимы без привлечения специальных структур, имеющих право производства ихтиологических работ (квотированные на вылов водных биологических ресурсов). следовательно, при таких условиях владельцы водозаборов не могут сами мониторить эффективность рыбозащитных сооружений.

По Указу Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» «приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации следует считать те направления, которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке, и обеспечат: а) переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» [12, 13]. На сегодняшнем, этапе развития науки и техники есть новые возможности разработки совершенно иных способов и методик мониторинга эффективности работы РЗС на водозаборных сооружениях конденсационных станций, введение в жизнь которых востребовано временем [14, 15]. В планах нашей последующей работы рассмотрение существующих способов мониторинга эффективности работы рыбозащитных сооружений для последующей реализации совершенно новых, современных, «цифровых» инструментов контроля с конечной целью в виде повышения сохранности рыб и иных водных биологических ресурсов в водоемах, организованных при конденсационных станциях.

### **Источники**

1. Методические рекомендации по определению эффективности рыбозащитных сооружений на водозаборах. М.: ЦУРЭН, 2016.

2. Эрслер А.А., Шерамет Н.Г. Экспресс-методика по определению функциональной эффективности рыбозащитных сооружений на водозаборах // Москва, ЦУРЭН, МИК. 2002. С. 42-43.
3. Калайда М.Л., Муганцева Т.П. Повышение эффективности работы системы технического водоснабжения ТЭС // Известия ВУЗов: Проблемы энергетики. 2012. Т., № 7/8. С. 128-131.
4. Булгаков А.Б. Воздушно-пузырьковые рыбозащитные устройства (РЗУ) с применением гидравлических кавитационных аппаратов (ГКА) // Известия Академии промышленной экологии. 2000. № 43. С. 60-63.
5. Дёмин А.П. Водохозяйственный комплекс России: понятие, состояние, проблемы // Водные ресурсы. 2010. № 37(5). С. 617-632.
6. Кузовлёв Г.М. О проектировании водохранилищных и морских водозаборов // Водоснабжение и санитарная техника. 1966. № 1. С. 18-23.
7. Малеванчик Б.С., Никоноров И.В. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения // Москва: Легкая и пищевая промышленность. 1984. С. 256-260.
8. Михеев П.А. Рыбозащитные сооружения и устройства // Москва. 2000. 405 с.
9. Стуране Р.Я., Юдин В.К. Конструкции рыбозащитных устройств фильтрующего типа с воздушной продувкой Экспресс информация // Мелиоративное и водное хозяйство. 1988. № 5(11). С. 2-6.
10. Мантейфель Б.П., Павлов Д.С., Пахоруков А.М. Биологические основы устройства рыбозащитных и рыбопропускных сооружений // Москва. Наука. 1978. С. 178-180.
11. Мотинов А.М., Колесникова Т.В. Рыбопропускные сооружения и рыбозащитные устройства. Гидротехнические сооружения // Москва. Стройиздат. 1983. С. 543-545.
12. Беспалов А.Г., Сальников А.Л., Беспалова О.Н., Давыдова С.А. Гидротехнические сооружения // Москва. КНОРУС. 2016. С. 94-95.
13. Калайда М.Л. Процессы самоочищения водных экосистем и их регуляция в условиях эвтрофирования // Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водных объектов: проблемы и пути решения. Материалы международной научно-практической конференции. Казань, 2017. С.4-12.
14. Калайда М.Л., Саетов А.Р., Рыбозащитные сооружения на водоемах объектов энергетики как важное мероприятие по сохранению стада рыб // Казань. Казанский государственный энергетический университет. Сборник докладов «Тинчуринские чтения – 2020». 2018. Т.1. С.108-113.



15. Калайда М.Л., Саетов А.Р., Водные биологические ресурсы в структуре экологических проблем энергетических объектов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. ВАК. 2022. Т. 24. № 2. С. 175-185

УДК 639.3

## **СОВРЕМЕННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ**

М.Л. Калайда<sup>1</sup>, Р.Г. Шарафутдинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>2</sup>Государственный комитет Республики Татарстан по биологическим ресурсам

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>rambaldi@mail.ru

В статье рассмотрены особенности температурного режима Куйбышевского водохранилища в связи с изменениями климата за последний период, влияющие на состояние рыбного стада. Показано, что количество дней с температурой воздуха выше 15°C, характеризующей рыбоводную зону, варьирует в разные годы последнего периода от 71 дня (2017 г.) до 133 дней (2020 г.). Отмечено смещение нерестовой температуры, как важнейшего экологического фактора для развития водных биоресурсов. Показана роль температуры в сочетании с уровнем режимом водохранилища в усилении эвтрофирования и «локальных катастроф» - гибели рыбы. Регулярная гибель рыбы на разных участках водохранилища при действии таких факторов как низкий уровень воды и высокая температура создают предпосылки для «локальных катастроф» на уровне ихтиоценозов. Смертность рыбы является механизмом освобождения экосистемы от избыточного органического вещества. Для улучшения состояния ихтиоценоза необходимо снижение численности малоценной и сорной рыбы.

**Ключевые слова:** Куйбышевское водохранилище, экосистема, температура, эвтрофирование, гибель рыбы.

## **MODERN TEMPERATURE REGIME OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR AS A FACTOR INFLUENCING WATER BIORESOURCES**

M.L.Kalayda<sup>1</sup>, R.G. Sharafutdinov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>2</sup>State Committee of the Republic of Tatarstan for Biological Resources

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>rambaldi@mail.ru

The article discusses the features of the temperature regime of the Kuibyshev reservoir in connection with climate changes over the recent period, affecting the state of the fish stock. It is shown that the number of days with an air temperature above 15°C, which characterizes the fish-breeding zone, varies in different years of the last period from 71 days (2017) to 133 days (2020). A shift in spawning temperature is noted as the most important environmental factor for the development of aquatic biological resources. The role of temperature in combination with the level regime of the reservoir in increasing eutrophication and "local catastrophes" - the death of fish is shown. The regular death of fish in different parts of the reservoir under the influence of factors such as low water levels and high temperatures creates the preconditions for "local catastrophes" at the level of ichthyocenoses. The mortality of fish is a mechanism for the release of the ecosystem from excess organic matter. To improve the state of ichthyocenosis, it is necessary to reduce the number of low-value and weed fish.

**Keywords:** Kuibyshev reservoir, ecosystem, temperature, eutrophication, fish mortality.

Для эффективного использования Куйбышевского водохранилища необходимы не только работы по формированию видового состава ихтиофауны, но важен и комплекс, складывающихся экологических компонент, которые определяют эффективность нереста, выживаемость молоди рыб, условия нагула и сохранность здоровья рыб.

Среди Целей в области устойчивого развития (ЦУР) [1] – задача 14.4 – положить конец перелову морских рыбных запасов, и одним из способов решения является управление водными биоресурсами внутренних водоемов.

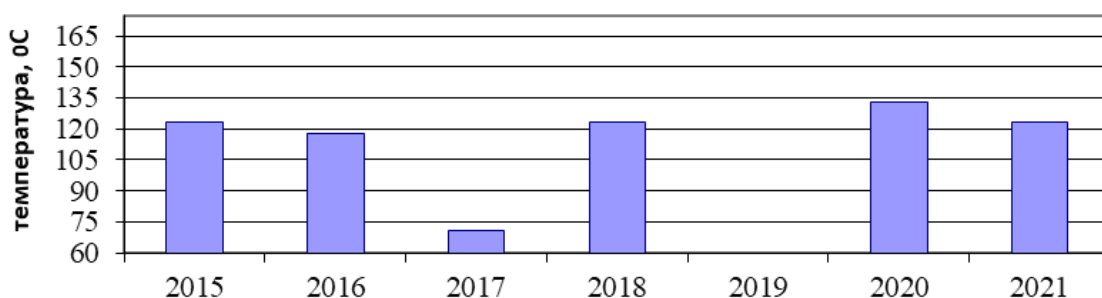
В связи с созданием Куйбышевского водохранилища произошли изменения в составе ихтиофауны. Одним из важных моментов в формировании численности популяций ценных видов рыб является эффективное воспроизводство в весенний период, которое определяется сочетанием уровня режима и достижением нерестовых температур.

Наиболее уязвимыми с позиций весеннего воспроизводства видами рыб являются фитофилы, которые используют для нереста мелководья с растительностью: щука - нерестится только на мелководьях до 1 м на растительности в апреле – мае при температуре 6-8°C; синец - нерестится на мелководьях до 1-1,5 м на растительности в апреле – мае при температуре 8-9°C. Менее уязвимы рыбы с порционным нерестом (берш, густера, уклея) и пластичные виды в отношении мест нереста, например, судак и окунь.

Сработки уровня в Куйбышевском водохранилище отмечаются во второй половине апреля – первой декаде мая. В том числе, это связано с

началом нерестовой осетровой компании в низовьях Волги и необходимостью сохранения нерестовых участков. В связи с этим возникает практический интерес к характеристикам температурного режима именно в период сброса вод.

Сравнение годового хода температур воздуха показывает, что количество дней с температурой воздуха выше 15°C варьирует в разные годы последнего периода от 71 дня (2017 г.) до 133 дней (2020 г.) (рис.1). Сравнивая количество дней с температурой воздуха выше 15°C в 2001-2011 гг. [2] с современной ситуацией (см. рисунок), обращает на себя внимание не только потепление по сравнению с периодом 80-90-х лет XX столетия, но и относительное снижение температур в настоящее время по сравнению с началом XX столетия.



Количество дней в году с температурой воздуха выше 15°C в последний период

В настоящее время наблюдается процесс ускорения эвтрофирования мелководных участков Куйбышевского водохранилища. Это проявляется как в «цветении» воды [2, 3, 4], так в резкой вариабельности содержания кислорода в воде [3, 4], особенно, в придонном слое и в смертности рыб [5, 6]. Регулярная гибель рыбы на разных участках водохранилища при сочетании таких факторов как низкий уровень воды и высокая температура создают предпосылки для «локальных катастроф» на уровне ихтиоценозов. Смертность рыбы является механизмом освобождения водной экосистемы от избыточного органического вещества в условиях эвтрофирования. Необходим контроль численности малоценной и сорной рыбы и организация ее вылова.

### Источники

1. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. // Состояние мирового рыболовства и аквакультуры, 2018. URL:

<http://aquacultura.org/upload/files/pdf/library/fao/Состояние202018.pdf> (дата обращения: 20.02.2020).

2.М. Гордеева, М. Калайда Комплексная оценка состояния экосистемы озер. Урбанизированные территории. LAP LAMBERT Academic Publishing (OmniScriptum GmbH & Co. KG), Saarbrücken, Germany/ Германия, 2015. 228 с.

3.Калайда М.Л. Экологическая оценка Куйбышевского водохранилища в условиях антропогенного воздействия.-Казань: Казан.гос.энерг.ун-т, 2003. 135 с.

4.Хамитова М.Ф., Калайда М.Л. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги.- LAP LAMBERT Academic Publishing RU (OmniScriptum Publishin Group, Saarbrücken, Germany/ Германия .2018, 310с. ISBN 978-613-9-92028-0

5.Калайда М.Л., Саетов А.Р. Водные биологические ресурсы в структуре экологических проблем энергетических объектов/Проблемы энергетики, 2022. т.24, №2. С.175-185.

6."Природная катастрофа": почему в Волге в огромном количестве гибнет рыба [электронный ресурс]: <https://progorodsamara.ru/newsv2/priodnaa-katastrofa-pocemu-v-volge-v-ogromnom-kolicestve-gibnet-ryba.html> (Дата обращения: 10.02.23).

УДК 639.3

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭСТРОФАНА (КЛОПРОСТЕНОЛА) ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ АФРИКАНСКОГО КЛАРИЕВОГО СОМА**

Е.С. Пиганов, А.А. Калайда  
Науч. рук. д-р биол. наук, проф. М.Л. Калайда  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
charict131@gmail.com

В работе описаны результаты экспериментов по определению токсичности, риска при превышении дозировки и воздействия эстрофана при использовании в целях искусственного воспроизводства.

**Ключевые слова:** клариевый сом, искусственное воспроизводство, эстрофан, клопростенол, дозировка.

## STUDYING THE POSSIBILITY OF USING ESTROFAN (CLOPROSTENOL) IN THE ARTIFICIAL REPRODUCTION OF AFRICAN CLARIID CATFISH

Piganov E.S., A.A. Kalaida  
KSPEU, Kazan, Russia  
charict131@gmail.com

The paper describes the results of experiments to determine the toxicity, risk when the dosage is exceeded and the impact of estrofan when used for the purpose of artificial reproduction.

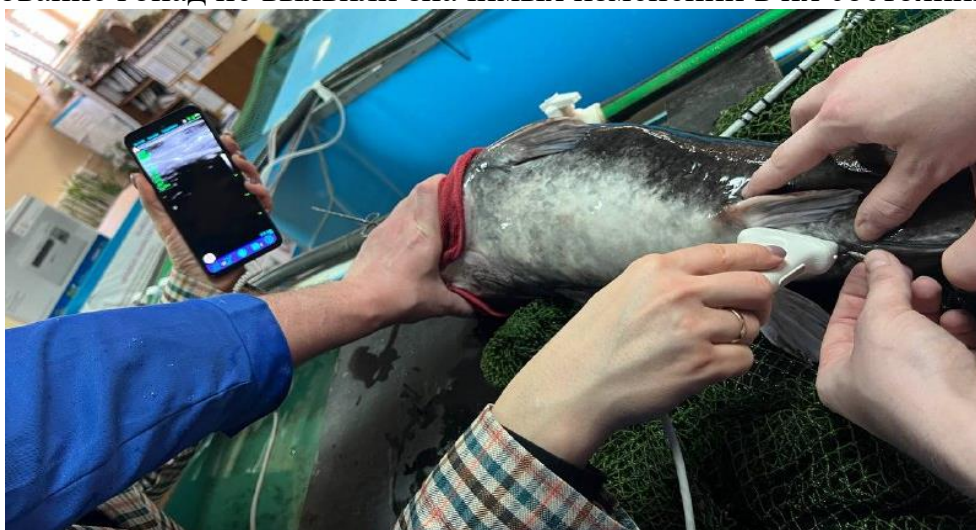
**Keywords:** clariid catfish, artificial reproduction, estrofan, cloprostenol, dosage.

Африканский клариевый сом является одним из наиболее перспективных объектов аквакультуры. Поскольку этот объект характеризуется очень высоким темпом роста и, соответственно, коротким производственным циклом, большое значение имеет своевременное получение посадочного материала высокого качества и в достаточном количестве [1]. Для получения посадочного материала в условиях высокоинтенсивного индустриального рыбоводства как правило применяются методы искусственного воспроизводства. При искусственном воспроизводстве производится стимуляция самок посредством инъекции натуральными (гипофиз карпа) или искусственными (сурфагон и др.) гонадотропными препаратами [2]. Инъектирование самцов является опциональным.

Для изучения возможности применения других гонадотропных и гормональных препаратов, а также для углубления понимания принципов работы гормональной системы рыб нами на базе лаборатории «Искусственного воспроизводства рыб и аквапоники» кафедры ВБА КГЭУ была проведена серия экспериментов по изучению влияния препарата «Эстрофан» (действующее вещество клопростенол) на рыб. Эстрофан применяют для индукции и синхронизации полового цикла, лечения функциональных и других нарушений репродуктивной функции в животноводстве. Клопростенол - синтетический гормон простагландин ПГФ<sub>2</sub>а. Он снимает тормозящее действие прогестерона на гипоталамо-гипофизарный комплекс, способствует росту фолликулов в яичниках и, увеличению уровня эстрогенов в крови, проявлению половой охоты и последующей овуляции созревших фолликулов [3].

Первый проведенный эксперимент был поставлен для определения токсичности и опасности передозировки. Эксперимент проводился на 6 особях серебряного карася массой от 90 до 220 г. Расчетная дозировка при пересчете на массу составила 0,004 мг эстрофана на килограмм массы. Для определения опасности передозировки особи были поделены на 3 группы: 1 группа получила дозу, соответствующую расчетной; 2 группа десятикратную дозу; 3 сорокократную дозу. У экспериментальных объектов выраженная реакция на препарат отсутствовала как в первые сутки после проведения инъекирования, так и долгосрочно. Смертность, признаки угнетения отсутствовали. Изменений в поведении, нарушений пищевого поведения, активизации половой охоты также не наблюдалось.

Второй эксперимент был проведен на 4-х половозрелых особях африканского клариевого сома обоего пола массой от 1,3 до 3,8 кг. Предварительно было проведено комплексное исследование гонад экспериментальных объектов с помощью аппарата УЗИ и зонда для отбора проб ооцитов, которое показало наличие икринок размера, соответствующего 4-ой стадии зрелости у самок (см. рисунок). Инъекирование проводилось дозами 0,1 мл раствора на особь. Результаты инъекирования производителей африканского клариевого сома соответствовали результатам предыдущего эксперимента на серебряных карасях. Смертность, или изменения в поведении не наблюдались. Особи не проявили активизации половой охоты. Осмотр и повторное исследование гонад не выявили значимых изменений в их состоянии.



Комплексное исследование гонад клариевого сома

Из приведенных данных можно сделать вывод о том, что эстрофан не оказывает на половое и иные виды поведения производителей африканского клариевого сома значимого эффекта. Кроме того,

необходимо отметить отсутствие эффекта передозировки на исследуемых объектах. Можно предположить, что данные результаты обусловлены значительной разницей в устройстве репродуктивных систем млекопитающих и рыб, а также в устройстве гормональной системы и отсутствием прямого взаимодействия эстрофана с гипофизом рыб.

### Источники

1. Калайда М.Л. Современное состояние и задачи развития аквакультуры в Республике Татарстан. Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны // мат. нац. науч.-практ. конф., Саратов: изд. «Научная книга». 2016. С. 38-45.

2. Калайда М.Л., Пиганов Е.С., Калайда А.А. Биологические особенности клариевого сома *Clarias gariepinus* при задачах искусственного воспроизводства // мат. межд. конф. Современное состояние и развитие аквакультуры: экологическое и ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов разведения, технологии выращивания. Новосибирск: НГАУ. 2020. С. 97-100.

3. Зоофарм [Электронный ресурс]. URL: <https://zoofarm67.ru/vetpreparaty/gormonalnye/estrofan-2-ml/> (дата обращения: 03.03.2023)

УДК 631.9

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В АКВАПОНИКЕ

А.С. Медведева

Науч. рук. канд. техн. наук, С.Д. Борисова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

medvedevaas2018@mail.ru

В статье рассматривается возможность выращивания лекарственных растений в аквапонической установке, которая сочетает в себе как выращивание растительной продукции, так и производство рыбной продукции. Основной целью является органическое производство мясной и растительной продукции.

**Ключевые слова:** аквапоника, лекарственные растения, освещение, влажность.

# PROSPECTS FOR GROWING MEDICINAL PLANTS IN AQUAPONICS

A.S. Medvedeva  
KSPEU, Kazan, Russia  
medvedevaas2018@mail.ru

The article considers the possibility of growing medicinal plants in an aquaponic installation, which combines both the cultivation of plant products and the production of fish products. The main goal is the organic production of meat and vegetable products.

**Keywords:** aquaponics, medicinal plants, lighting, humidity.

Опыт применения целебного потенциала растений известен человечеству с давних времен. Большой популярностью травы с лечебными свойствами пользовались на Руси. И до настоящего времени растения являются неистощимым источником биологически активных веществ, на основе которых создаются лекарственные средства. Сбор и заготовка лекарственных растений - это перспективная, экономически и социально значимая отрасль, у которой есть большой рыночный потенциал. Однако существует ряд проблемных вопросов, сдерживающих лекарственное растениеводство. Это как общие проблемы законодательного и организационного характера, так и сезонность сбора и заготовки лекарственных растений; недоступность некоторых видов из-за особенностей произрастания; неблагоприятные погодные условия в течение вегетативного сезона и т.д. Тем не менее активно растущий спрос на качественное лекарственное растительное сырье открывает большие перспективы для развития отрасли. Необходимо отметить, что технологии выращивания лекарственных растений в настоящее время в России слабо развиты [1].

Абиотические и биотические факторы влияют на рост и развитие растений. К биотическим факторам относятся различные микроорганизмы, которые поражают корневую зону растений и способны нарушать обмен веществ. Абиотические факторы – это свет, циркадные ритмы, температура, влажность, минералы и т.д. [2].

Соблюдение всех вышеперечисленных факторов можно обеспечить, выращивая лекарственные растения в аквапонических установках, где растения получают все необходимые питательные вещества из отходов жизнедеятельности рыб. Воды циркулирует в замкнутой системе, растения получают питание, в то же время выполняя роль биофильтра в рыбоводной установке. Анализ литературы показал, что некоторые растения, такие как



мята перечная, мелисса, шалфей лекарственный, лапчатка белая, копеечник чайный, тысячелистник обыкновенный возможно выращивать в аквапониических установках, в статьях описаны некоторые условия выращивания и результаты экспериментов [3].

Нами также был проведен анализ влаголюбивых лекарственных растений: багульник болотный, росянка круглолистная, череда трехраздельная, валериана лекарственная, горец змеиный, горец почечуйный, сушеница топяная, брусника обыкновенная, голубика, калужница болотная, клюква четырехлепестная, ирис болотный, лапчатка прямостоячая, монарда, подбел многолистный. Анализ условий выращивания вышеназванных растений показал, что их успешно можно культивировать в аквапониических установках. Изучались такие показатели выращивания как оптимальная температура, рН, освещенность, отношение растения к влаге, особенности размножения и структура почвы.

Сопоставив условия выращивания лекарственных растений и особенности аквапониических технологий, было сделано выводом том, что при разведении теплолюбивых видов рыб (осетр, севрюга, белуга, шип, стерлядь, сазан, лещ, судак, тарань, вобла и др.) возможно выращивание таких растений, как росянка круглолистная и горец почечуйный. А при разведении холодолюбивых рыб (лососи, кумжа, белорыбица, сиги и др.) - морошка, монарда, лапчатка, ирис болотный, калужница болотная, голубика, сушеница топяная, череда трехраздельная. Также выбор вида лекарственного растения для аквапоники зависит от рН среды. В подкисленной среде можно выращивать такие растения, как багульник болотный, росянка круглолистная, череда трехраздельная, валериана лекарственная, сушеница топяная, брусника обыкновенная, голубика, клюква четырехлепестная, подбел многолистный и морошка. При рН 6,5-7,5 - монарду. В щелочной среде - ирис болотный.

Таким образом, выращивание лекарственных растений в аквапониике позволит круглогодично выращивать лекарственные растения, сократить финансовые затраты на их сбор, защитить растения от сорняков и вредителей, еще больше приобщить население к использованию в жизнедеятельности натуральных природных средств. При выборе лекарственных растений для выращивания в аквапониике необходимо учитывать: вид рыбы, температуру, рН, освещение и химический состав воды.

### Источники

1. Цицилин А. Н., Ковалев Н. И.. Лекарственное растениеводство в России в 21 веке (Вызовы и перспективы развития) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 1. С 42-52.
2. Якушкина Н.И. Физиология растений: Учеб. пособие для студентов биол. спец. пед. ин-тов. — М.: Просвещение, 1980. — 303 с., ил.
3. Дроздов В.В. Общая экология. Учебное пособие. - СПб.: РГГМУ, 2011. - 412 с.

УДК 556.555.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТВОРОВ ХЛОРЕЛЛЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

К.Р. Муратова, Л.Р. Закирова  
Науч. рук. канд. биол. наук М.Э. Гордеева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Muratovakamila15@gmai.com

Представитель зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* обладает таким количеством полезных свойств, каким не обладает ни одно другое наземное или водное растение. В связи с этим возникает острая необходимость промышленного культивирования ее суспензии. В работе обобщены многолетние литературные данные российских и зарубежных ученых по росту и сокращению биомассы хлореллы при воздействии на нее различных факторов среды: температуры, света, аэрации, насыщении углекислом газом, перемешивании. Показано, что актуальным и мало изученным является исследование физико-химических показателей растворов хлореллы разной плотности, полученных в результате воздействия представленных факторов среды для оценки наиболее пригодных направлений ее использования.

**Ключевые слова:** *Chlorella vulgaris*, оптическая плотность, температура, свет, перемешивание, аэрация, физико-химические показатели раствора.

## THE STUDY OF OPTICAL DENSITY AND PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF CHLORELLA SOLUTIONS UNDER THE INFLUENCE OF VARIOUS ENVIRONMENTAL FACTORS

K.R. Muratova, L.R. Zakirova  
KSPEU, Kazan, Russia  
Muratovakamila15@gmai.com

A representative of the green algae *Chlorella vulgaris* has so many useful properties that no other terrestrial or aquatic plant has. In this regard, there is an urgent need for industrial cultivation of its suspension. The paper summarizes the long-term literature data of Russian and foreign scientists on the growth and reduction of chlorella biomass when exposed to various environmental factors: temperature, light, aeration, carbon dioxide saturation, mixing. It is shown that the study of physico-chemical parameters of chlorella solutions of different densities obtained as a result of the influence of the presented environmental factors to assess the most suitable directions of its use is relevant and poorly studied.

**Keywords:** *Chlorella vulgaris*, optical density, temperature, light, mixing, aeration, physico-chemical parameters of the solution.

В настоящее время изучение водорослей становится приоритетной темой исследования. Водоросли – это тест-объекты в биологии, физиологии, биохимии, генетике и многих других областях фундаментальных биологических наук; это источник первичной продукции, от которого зависят промышленные ресурсы водоемов; это компоненты в составе косметологической продукции; это источник белка в сельскохозяйственной продукции и т.д. Их широкое распространение приводит к необходимости их культивирования в промышленных масштабах, а также определению условий роста клеток и увеличения плотности растворов, определению их физико-химических показателей для возможности дальнейшего применения.

Одним из перспективных видов для использования в различных отраслях промышленности является вид *Chlorella vulgaris* – хлорелла обыкновенная. Хлорелла – представитель зеленых водорослей, обладающая большим количеством полезных свойств. Хлорелла может использоваться в сельском хозяйстве для подкормки растений, птиц и животных, в пчеловодстве и рыбном хозяйстве; в пищевой промышленности; в медицине, косметологии и парфюмерии; для очистки сточных вод и реабилитации водоёмов; для производства кислорода; для производства биотоплива.

Литературный обзор выявил изменение плотности суспензии хлореллы под воздействием различных физических факторов среды, основными из которых является свет и температура.

Л.Л. Кругликова, Д.М. Савинова утверждают [1], что при одинаковой цветовой температуре 4200К результаты роста клеток хлореллы были практически идентичны, т.е. при такой световой температуре степень влияния характера спектра излучения источника света на рост хлореллы незначительна. При этом в эксперименте показано,

что максимальный рост во времени дает воздействие на суспензию люминесцентной лампы по сравнению с лампой накаливания и светодиодной. Ученые делают вывод, что на рост клеток хлореллы влияет цвет свечения лампы. Наиболее эффективен фотосинтез в красной области (от 660 до 680 нм) и в синем спектральном диапазоне (от 420 до 450 нм). Наименее эффективен зеленый свет (от 500 до 580 нм) – он имеет наименьшее поглощение. Необходимо отметить, что замеры физико-химических показателей в схожих сериях экспериментов не были произведены.

Исследования С.А.Нагорнова, М.Ю. Владимировой [2] показывают, что прирост биомассы в целом начинается при 26-30°C. При этом во многих литературных источниках говорится о нестабильном увеличении биомассы при изменении температуры более чем на 5°C в коротки промежутки времени. Также необходимо указать о недостаточных сведениях о изменении, к примеру, таких показателей как окислительно-восстановительный потенциал, проводимость, общая минерализация при увеличении или уменьшении биомассы, вызванной температурным воздействием.

Иным фактором, влияющим на увеличении биомассы хлореллы, является повышение концентрации углекислого газа в растворе [2]. Оптимальная концентрация углекислого газа составляет от 0,8 до 10% в растворе, для увеличения биомассы *Chlorella vulgaris* рекомендовано 4-7%.

Интересно отметить, что и дополнительная аэрация приводит к увеличению плотности суспензии [3]. В литературе описывается о возможности увеличения скорости роста до 5,3 раз, а при добавочном воздействии в виде перемешивания до 5,9 раз.

Непосредственное воздействие на раствор в виде насыщения углекислым газом или кислородом приводит к изменению не только плотности, но и других физико-химических показателей раствора, что делает это направление перспективным для дальнейшего изучения.

### **Источники**

1. Л.Л. Кругликова, Д.М. Савинова Влияние фотометрических характеристик источника излучения на эффективность выращивания микроводоросли *chlorella*// ВТСНТ. 2014. С. 225-228
2. С.А. Нагорнов, Ю.В. Мещерякова Исследование условий культивирования микроводоросли хлорелла в трубчатом фотобиореакторе // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2015. С.657

3. Калайда, М.Л., Галеева М.Э. Эксперименты по альголизации водоемов одноклеточной водорослью *Chlorella vulgaris* // Вестник Казанского гос. энерг. ун-та. 2011. № 2(10). С. 42-52.

УДК 639.3

## **ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОДОЕМА КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА Р.НЫСЕ У С.АБДИ ПО МАТЕРИАЛАМ 2022 Г.**

Д.В. Пенкин

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. М.Л. Калайда  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
kalayda4@mail.ru

В статье проведен результат исследования температурного режима водоема комплексного назначения на р.Нысе у с.Абди в контрольных точках с учетом размещения садковой рыбоводной линии и имеющихся родников. Показана изменения температуры по месяцам.

**Ключевые слова:** температурный режим, садковая линия, водоемы комплексного назначения.

## **THE TEMPERATURE REGIME OF THE WATER BODY OF COMPLEX PURPOSE ON THE NYSE R. AT S. ABDI ACCORDING TO THE MATERIALS OF 2022**

D.V. Penkin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
kalayda4@mail.ru

The article presents the result of a study of the temperature regime of a complex-purpose reservoir on the Nysa River near the village of Abdi at control points, taking into account the location of the cage fish breeding line and available springs. Monthly temperature changes are shown.

**Keywords:** temperature regime, cage line, reservoirs for complex purposes.

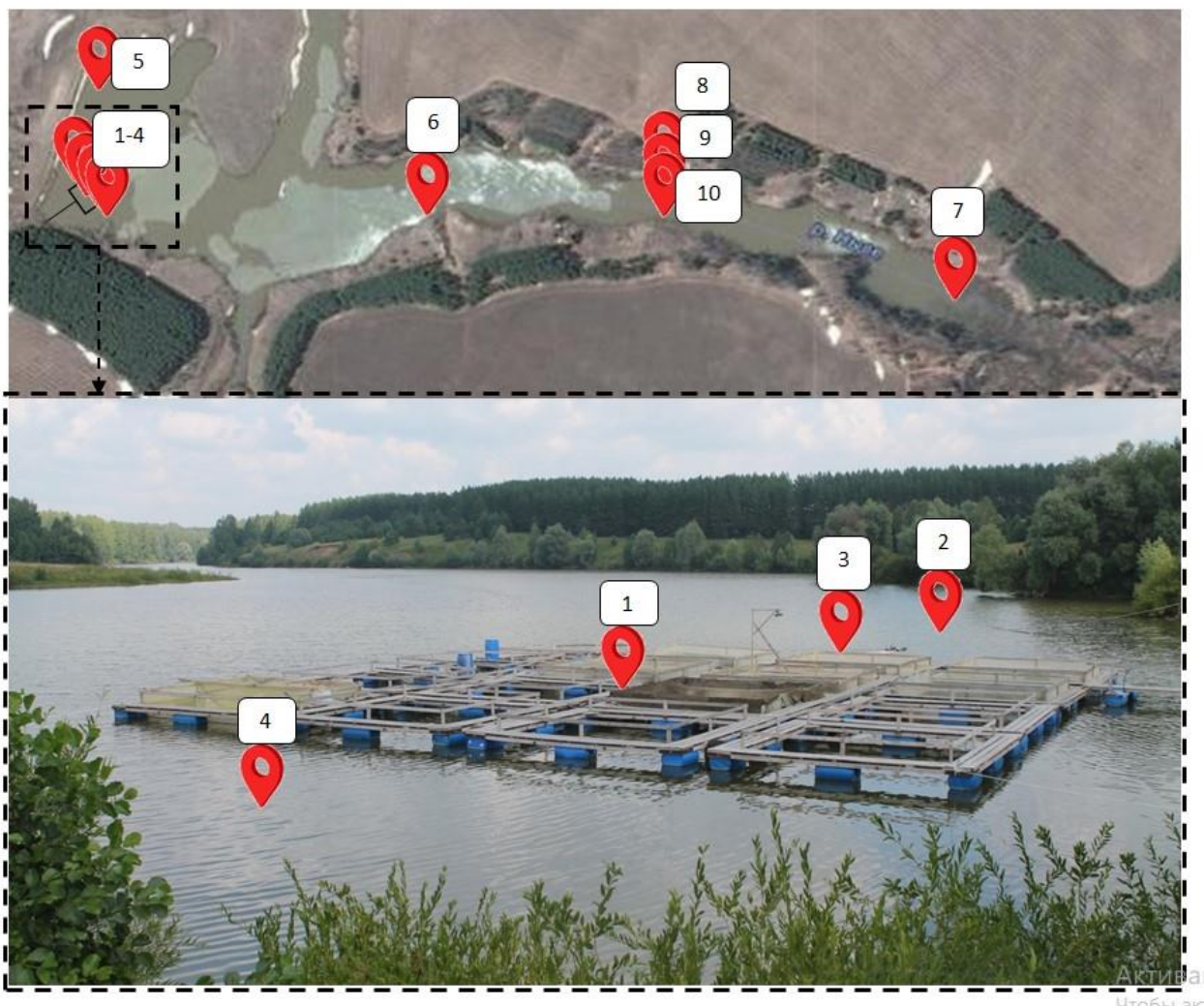
Исследование температурного режима водоема комплексного назначения при организации садкового хозяйства относится к обязательному, так как это определяет не только выбор видов рыб как

объектов садкового выращивания, но и прогнозирование темпов их роста, затрат кормов и физиологическое состояние рыб [1].

Целью исследования является характеристика температурного режима воды на разных глубинах в контрольных точках с учетом размещения садковой рыбоводной линии и имеющихся родников.

Контроль проводился на 10 станциях [2][3], отмеченных на рисунке.

Измерения температуры проводились с помощью портативного многопараметрического прибора.



Станция отбора проб на водоеме комплексного назначения р.Нысе у с.Абди.

Температура воды в начале августа в поверхностном слое воды составляла  $25 \pm 0,4^\circ\text{C}$ . В водоеме наблюдалась температурная стратификация, с увеличением глубины температура падала, и на глубине 3 м составляла  $21,95^\circ\text{C}$ . В сентябре после похолодания температура воды в поверхностных и придонных слоях выровнялась и отличалась незначительно, так, в верхних участках водоема разница не превышала  $0,72^\circ\text{C}$ , в районе садковой линии –  $0,11^\circ\text{C}$ . Средняя температура воды в

верхнем участке водоема составляла 19,42 °С, в районе садковой линии 19,02 °С. В октябре продолжилось понижение температуры с сохранением гомотермии. Средняя температура воды в верхнем участке водоема составляла 10,08 °С, в районе садковой линии 9,73 °С. Результаты замеров температуры в период исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Температура воды на разных глубинах водоема комплексного назначения на р. Нысе у с. Абди в 2022г., °С

Глубина, м	Температура воды, °С									
	Станции									
	7	8	9	10	6	2	3	1	4	5
02.08.2022 г										
0,2	24,55	25,05	25,13	25,23	24,82	25,0	24,7	24,6	25,05	25,98
1	23,34		23,7			23,8				
2	22,54		22,7		22,75	21,95		22		
03.09.2022 г.										
0,2	19,01	19,75	19,85	19,85	19,75	19,02	18,98	19,06	19,08	18,95
1	18,43		19,60		19,65	19,04	19,04	19,08	19,09	18,96
2			19,13		19,49	19,00	19,02	19,08	19,01	18,96
3					19,10	19,05	18,93	19,00	18,97	
11.10.2022 г.										
0,2	10,29	10,09	10,48	10,37	10,21	9,78	9,62	9,86	9,85	9,98
1		10,00	9,90		10,21	9,78	9,6	9,65	9,76	10,00
2					9,63	9,78	9,58	9,63	9,67	
3					9,59	9,70	9,57	9,67	9,63	

Исследование температурного режима выявило наличие прямой температурной стратификации летом - с увеличением глубины температура падала, и гомотермию в осенний период. Значимого влияния родников на температурный режим не выявлено.

#### Источники

1. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства. Краткая теория и практикум: учеб. Пособие / М.Л. Калайда – Санкт-Петербург: ПроспектНауки, 2014. – 224 с.

2. Атлас Республики Татарстан.– М.: Производственное картосоставительское объединение «Картография», 2005. – 119 с.

3. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР [Текст] / Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР... ; под ред. канд. техн. наук В. А. Знаменского и В. М. Гейтенко. - Ленинград :Гидрометеоиздат, 1977. - 30 с.

УДК 639.3

## ОСОБЕННОСТИ УЗИ ДИАГНОСТИКИ НИЛЬСКОЙ ТИЛЯПИИ

А.В. Платонова

Науч. рук. канд. биол. наук М.Ф. Хамитова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

platonovasasa047@gmail.com

В работе описаны методы УЗИ-диагностики рыб. На примере нильской тилляпии проведено исследование эхограмм особей с разной стадией зрелости гонад.

**Ключевые слова:** нильская тилляпия, УЗИ диагностика, линейный датчик, стадии зрелости гонад, определение пола рыб.

## PECULIARITIES OF ULTRASOUND DIAGNOSTICS OF THE NILE TILAPIA

A.V. Platonova

KSPEU, Kazan, Russia

platonovasasa047@gmail.com

The paper describes the methods of ultrasound diagnostics of fish. On the example of the Nile tilapia, a study of the echograms of individuals with different stages of gonadal maturity was carried out.

**Keywords:** Nile tilapia, ultrasound diagnostics, linear probe, gonadal maturity stages, sex determination of fish.

Одной из актуальных проблем рыбоводства на сегодняшний день является определение пола и стадии развития гонад у рыб.

Впервые экспресс-метод раннего ультразвукового (УЗИ) определения пола и стадий зрелости гонад был применен в конце 90-х гг. прошлого века на осетровых видах рыб [1].



При УЗИ-диагностики рыб оптимальная рабочая поверхность датчика составляет 40-60 мм. Для широкого диапазона исследуемых размерных групп (от 0,5 кг до 50 кг) рекомендуются датчики с рабочей частотой 5-10 МГц [2].

Глубина проникновения ультразвука зависит от вида рыбы, плотности и степени неоднородности тканей.

Датчик необходимо направлять под углом 90° для получения максимального отражения и четкого изображения.

Способность идентифицировать изображение и диагностировать пол и стадии зрелости будут зависеть от следующих факторов: видовая принадлежность, возраст, размер, упитанность, условия и режим выращивания. Кроме того, для определения стадий зрелости гонад решающее значение приобретают относительные и абсолютные размеры гонад и характер генеративной ткани, а также степень затухания сигнала, связанная с изменениями структуры гонад [2].

У осетровых рыб на эхограмме (рис. 1) семенники IV стадии визуализируются как яркая гиперэхогенная мелкозернистая однородная структура с четкими яркими краями и хорошо выраженными оболочками, которые отчетливо видны как на продольном, так и на поперечном срезе.

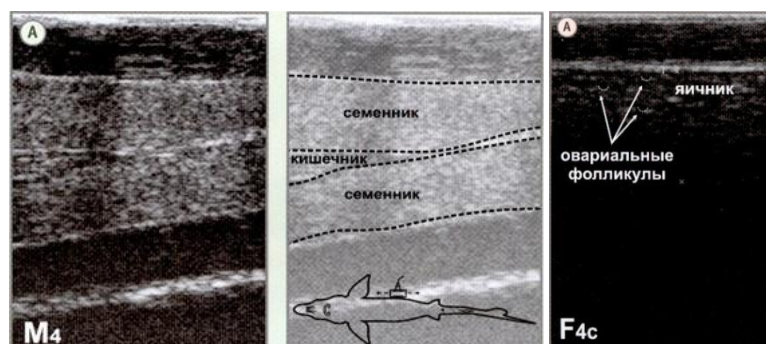


Рис 1. Эхограммы продольных срезов семенников русского осетра четвертой стадии зрелости (M4) и яичника самки четвертой завершенной стадии зрелости (F4c)

На эхограмме (рис.1) видны отдельные икринки в виде зернистых включений практически одинакового размера, яичник имеет зернистую неоднородную структуру с выраженными рядами (линии) ооцитов. Ультразвук практически полностью поглощается в верхнем (1 см) слое яичника и поэтому нижележащая часть гонады и органы под ней не визуализируются [2].

Наше исследование было посвящено определению возможности применения УЗИ-сканирования при идентификации пола и степени

зрелости нильской тилапии (*Oreochromis niloticus*), объекту широко применяемому в мировой аквакультуре[3].

Исследования проводились на каф. ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ» Материалом для работы послужили 5 самок массой от 850 г до 1095 г, длиной тела от 32 см до 36 см и 2 самца массой 1380 г и 1585 г, длиной тела 40 см и 41 см. Также проводилось эхосканирование брюшной полости с последующим вскрытием одной особи массой 1460 г и длиной тела 43 см. Для обследования нильской тилапии использовался портативный УЗИ сканер AcuVista 10SE с линейным датчиком, глубина проникновения волны 5 см.

Сканирование проводилось продольно оси тела сбоку над брюшной полостью, относительно длины рыбы между брюшными плавниками и анальным отверстием. Результаты сканирования представлены на рис.2

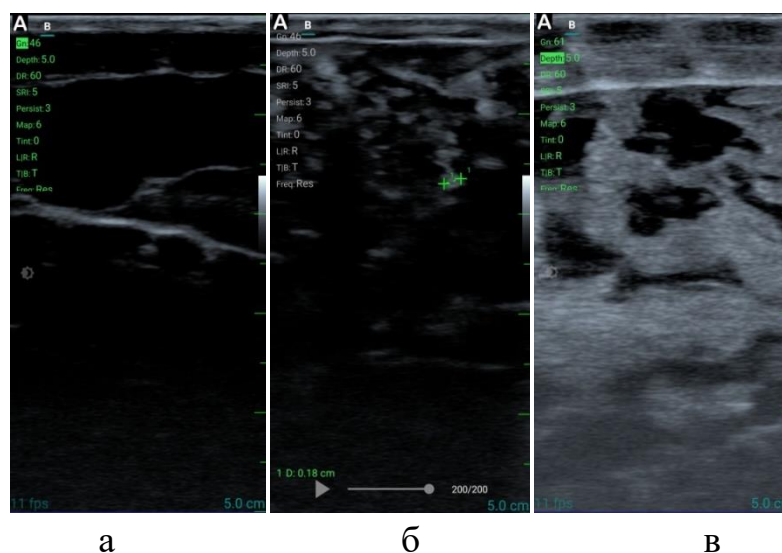


Рис. 2 Эхограммы продольных срезов самца (а), самки (б) нильской тилапии и особи с не развитыми гонадами (в)

Как видно на рисунке, эхограммы особей со зрелыми половыми продуктами значительно отличаются. На рис. 2в при вскрытии особи исследуемый участок был заполнен петлями кишечника и жировыми отложениями. Для самок характерна зернистость, размер фолликула 1,8 мм. У самцов тилапии не было отмечено выраженных признаков гиперэхогенности, как у осетровых видов рыб. Семенники предположительно гипоэхогенные с гиперэхогенной оболочкой.

Таким образом, методы УЗИ-диагностики возможно использовать для идентификации пола у тилапий.

### Источники

1. Чебанов М.С., Чмырь Ю.Н. Новые методики оптимизации осетроводства// Рыбоводство и рыболовство. 2002. №1. С. 20-21.
2. Чебанов М.С., Галич Е.В., Ультразвуковая диагностика осетровых рыб // Рыбоводство и рыболовство. 2008. №1. С. 14-16.
3. Калайда М.Л., Петрова А. Ю., Тиляпия в структуре мировой аквакультуры// Межд. молод. науч. конф. «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». Казань: КГЭУ, 2020. С. 410-413.

УДК 574.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СНЕЖНОГО ПОКРОВА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Д.Е. Сиразиева<sup>1</sup>, С.М. Абрамова<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. биол. наук М.Э. Гордеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>d.sirazieva@mail.ru, <sup>2</sup>sofya.abramova.2018@bk.ru

Главным источником питания замкнутых водоемов являются осадки в виде дождя и снега. В весенний период времени большое количество снежных осадков и смывов с прибрежных территорий с дождем попадает в водоемы, изменяя его химический состав и условия обитания гидробионтов. В связи с этим в данной работе рассматриваются физико-химические показатели снега на территории с разным антропогенным воздействием. Проводится анализ как на базовые физико-химические показатели как рН, общая минерализация, проводимость, ЭДС, так и на перспективный комплексный показатель – окислительно-восстановительный потенциал.

**Ключевые слова:** снежный покров, осадки, физико-химические показатели, рН, ОВП, урбанизированная территория, антропогенное воздействие.

## STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL INDICATORS OF SNOW IN URBANIZED TERRITORY

D.E. Sirazieva<sup>1</sup>, S.M. Abramova<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>d.sirazieva@mail.ru, <sup>2</sup>sofya.abramova.2018@bk.ru

The main source of recharge for closed water bodies is precipitation in the form of rain and snow. In the spring period, a large amount of snow precipitation and washes from coastal

areas with rain falls into water bodies, changing its chemical composition and living conditions of hydrobionts. In this regard, this work considers the physical and chemical indicators of snow in the territory with various anthropogenic impacts. Analysis is carried out both for basic physical and chemical indicators of both pH, total mineralization, conductivity, EMF, and for a promising complex indicator - redox potential.

**Keywords:** snow, precipitation, physico-chemical parameters, pH, Eh, urbanized territory, anthropogenic impact.

Знание закономерностей распределения снежного покрова, его физико-химических характеристик важно с гидрологической, сельскохозяйственной, климатической и других точек зрения. Информация о снежном покрове помогает бережно управлять водными и почвенными ресурсами и защитить их от вредного антропогенного воздействия[1]. Проведенный литературный обзор выявил особый интерес к данной теме, поскольку исследование физико-химического состава снежного покрова способствует решению ряда региональных природоохранных задач, поскольку именно снежный покров является одним из компонентов в системе атмосфера – снежный покров – природные воды – гидробионт – человек.

Анализ показывает о наиболее частом исследовании кислотности снега, так как показатель кислотности является важным интегральным показателем загрязненности атмосферных осадков. К примеру, исследование кислотности снега в Москве показало значительный разброс значений от 4,8 до 7,2[2]. Кислотность снежного покрова в лесном массиве вблизи г. Казани  $6,3 \pm 0,21$ , на акватории р. Волга  $3,9 \pm 0,32$ , что также указывает на широкий разброс значений кислотности на территории с низким антропогенным воздействием. При этом, считается, что чистый снег, как и чистая дождевая вода, имеет  $pH = 5,6$ .

Другим по популярности показателем для определения считается общая минерализация, представляющая собой сумму концентрации всех определяемых ионов. Признано, что чем чище проба снега, тем ниже значение общей минерализации. В Москве диапазон изменения общей минерализации снежного покрова составляет от 4,2 до 78 мг/л [2]. В Казани, общая минерализация отобранных проб (на участках с низким антропогенным воздействием) изменялась от 8 до 15 мг/л. При этом, если сравнивать с основными реками, протекающими вблизи г. Казани, то их общая минерализация в среднем составляет  $327 \pm 66$  мг/л. Таким образом, в весенний период времени при таянии снега общая минерализация воды

водоема будет снижаться [3](при условии «чистого» снежного покрова), а в летний период времени при увеличении испарения повышаться.

Помимо кислотности и общей минерализации наиболее эффективным для анализа и решения региональных проблем является определение химического состава снежного покрова, что позволяет делать выводы об основных источниках загрязнения и предпринимать соответствующие решения.

Нами предлагается ввести дополнительный показатель для анализа – окислительно-восстановительный потенциал (ОВП)[4], который комплексно позволяет подойти к вопросу качества воды. Анализ значений ОВП в зоне г. Казани с низким антропогенным воздействием показало изменение данного показателя от 200 до 282 мВ, что говорит о «чистом» снеге[4].

При этом, представляет интерес проведение дополнительных исследований снежного покрова в районах с разным антропогенным воздействием для анализа влияния степени загрязнения на физико-химические показатели снежного покрова, основные из которых рН, ОВП, общая минерализация, ЭДС.

### **Источники**

1. Батршина С.Ф. Динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия: автореф. ... дис. канд. геогр. наук:25.00.30. Казань, 2005. 21 с.

2. Еремина И.Д., Григорьев А.В. Кислотность и химический состав снежного покрова в Москве и Подмосковье за период 1999-2006 гг. // Вестник Московского университета. – 2010. - №3. – С.55-60

3. Романова С.М., Пономаренко О.И. Особенности формирования химического состава воды водоемов-охладителей в условиях антропогенного воздействия // Гидрометеорология и экология. - 2015. - №1. - С. 150-156.

4. Калайда М.Л., Гордеева М. Э. Абиотические факторы среды в классификации вод объектов энергетики для задач аквакультуры // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2021. – Т.4. – С. 31-39

## ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА И ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ В БИОФИЛЬТРАХ РЫБОВОДНЫХ УСТАНОВОК

Хамитова М.Ф., Д.А.Рахматуллина<sup>1</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>rakhmatullinadalila@gmail.com

В работе описаны динамики изменения концентрации растворенного кислорода и рН в биофильтрах рыбоводных установок кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

**Ключевые слова:** биофильтр, установка замкнутого водоснабжения (УЗВ), гидрохимия, растворенный кислород, водородный показатель, рН.

## DYNAMICS OF OXYGEN AND pH CONCENTRATIONS IN BIOFILTERS OF FISH HATCHERIES

M.F. Khamitova, D.A. Rakhmatullina<sup>1</sup>  
KSPEU, Kazan, Tatarstan  
<sup>1</sup>rakhmatullinadalila@gmail.com

The article describes the dynamics of changes in the concentration of dissolved oxygen and pH in biofilters of kaf fish hatcheries.VBA «KSPEU».

**Keywords:** biofilter, installation of closed water supply, hydrochemistry, dissolved oxygen, hydrogen index, pH.

В аквакультуре биофильтрация является одним из основных методов обеспечения качественной воды для жизни и развития рыб. Биофильтры используются для удаления аммиака, нитритов и нитратов из воды. Изучение динамики концентрации кислорода и водородного показателя в биофильтрах является важным аспектом в поддержании здоровья рыб и эффективности работы фильтров [1].

При недостаточном количестве кислорода в воде, рыбы могут испытывать дыхательные проблемы, что может привести к смерти. Кроме того, изменение концентрации кислорода может повлиять на размножение и рост рыб [2]. Кислородный показатель отражает количество растворенного кислорода в воде, который необходим для жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в биологическом

процессе очистки воды. Если содержание кислорода ниже определенного уровня, то это может привести к снижению эффективности очистки [3].

Водородный показатель отражает уровень рН воды, который влияет на скорость биологических процессов очистки. К примеру, низкий уровень рН может замедлить процессы окисления, а высокий уровень рН может убить микроорганизмы[4].

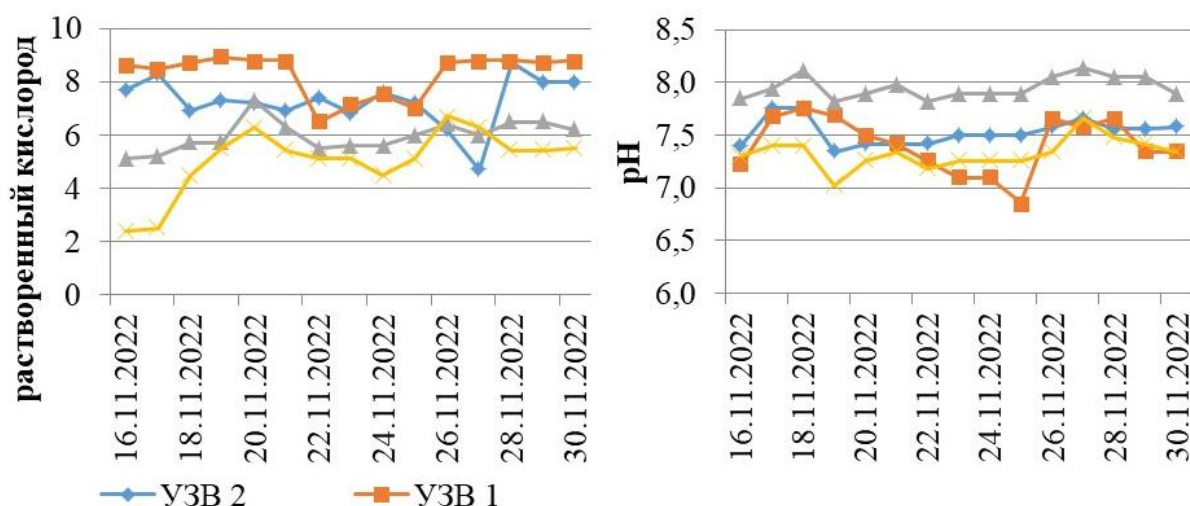
Исследование динамики концентрации растворного кислорода и рН проводилось в рыбоводных установках кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО КГЭУ.

Объем биофильтра первой установки (УЗВ 1) составляет 0,06 м<sup>3</sup>, заполнен смешенной плавающей и тонущей пластиковой загрузкой, скорость водоподачи 0,01 л/с, проточность 0,6 раза в час, в установке выращиваются карпы Кои, пангасиус, красноклешневые раки, частичная замена воды раз в неделю. Объем биофильтра второй установки (УЗВ 2) – 0,8 м<sup>3</sup>, заполнен смешенной плавающей пластиковой загрузкой, скорость водоподачи 1 л/с, проточность 4 раза в час, в установке выращиваются, тилапии, клариевый сом, частичная замена воды ежедневно. Объем биофильтра третьей установки (УЗВ осетровые) – 0,33 м<sup>3</sup>, заполнен плавающей пластиковой загрузкой, скорость водоподачи 0,21 л/с, проточность 2 раза в час, частичная замена воды раз в 2 дня. В биофильтрах всех трех установок обеспечивается круглосуточная аэрация. В четвертой установке (УЗВ карповые) вместо биофильтра установлен отстойник без загрузки и аэрации, объем отстойника – 0,15 м<sup>3</sup>, скорость водоподачи 0,1 л/с, проточность 2,4 раза в час, в установке выращиваются карпы Кои, кометы, частичная замена воды раз в 3-4 дня.

Для замеров растворенного кислорода и температуры использовался оксиметр AR8406, для рН – рН-метр Espada PH-02. Контроль показателей проводился ежедневно, в течение 2 недель в ноябре 2022г.

Концентрация кислорода в биофильтрах и отстойнике варьировала от 2,4 до 8,9 мг/л, наименьшие значения отмечались в биофильтре УЗВ с осетровыми видами рыб, наибольшие в УЗВ1. Наибольшие колебания этого параметра отмечались в УЗВ с осетровыми видами рыб (от 2,4 до 6,7 мг/л) и УЗВ2 (от 4,7 до 8,7 мг/л). В УЗВ 1 показатель варьировал от 6,5 до 8,9 мг/л, в УЗВ с карповыми видами рыб от 5,1 до 7,3 мг/л (рис.1).

рН в биофильтрах и отстойнике варьировал от 6,86 до 8,14 мг/л, наименьшие значения отмечались в биофильтре УЗВ1 с осетровыми видами рыб, наибольшие в отстойнике УЗВ с карповыми видами рыб (см. рисунок).



Динамика концентрации растворенного кислорода и рН в биофильтрах и отстойнике установок каф. ВБА ФГБОУ ВО КГЭУ

Наибольшие колебания этого параметра отмечались в биофильтре УЗВ1 (от 6,86 до 7,76 мг/л), наименьшие в УЗВ с карповыми видами рыб (от 7,82 до 8,14 мг/л). В УЗВ 2 показатель варьировал от 7,34 до 7,76 мг/л, в УЗВ с осетровыми видами рыб от 7,02 до 7,66 мг/л. Уровень рН в рыбоводных установках стабильный и его колебания не превышают 0,9, перепад в сторону повышения рН наблюдается в УЗВ1 при подмене воды.

Таким образом, на кафедре ВБА ФГБОУ ВО КГЭУ поддерживаются условия оптимальные для полноценной работы биофильтров.

### Источники

1. Калайда М. Л., Хамитова М.Ф., Гордеева М.Э., Борисова С.Д. Особенности гидробиоценозов малых водоёмов на урбанизированной территории. Казань: КГЭУ, 2020. 212с.
2. Паламарчук Р.А., Дерень О.В., Михайленко Н.М., Кориляк М.З. Состояние система антиоксидантной защиты организма карпа при скармливания амаранта (*Amaranthus Linnaeus*, 1753) в стандартных и стрессовых условиях выращивания // Рибогосподарська наука України. 1(47). 2019. С.68-85.
3. Важность растворенного кислорода в воде и водных системах // МоемГород [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moemgorod.com/blog/148/> (дата обращения: 01.03.2023).
4. Что такое рН воды: все, что нужно знать о кислотности-щелочном равновесии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vodaiceberg.ru/blog/poleznyie-stati-pro-vodu/chto-takoe-rh-vody/> (дата обращения: 02.03.2023).



### Секция 3. Теплофизика

УДК 66.074.2

## УЛАВЛИВАНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ СЕПАРАЦИОННЫМ УСТРОЙСТВОМ С КАНАЛАМИ КВАДРАТНОЙ ФОРМЫ

А.С. Васильева<sup>1</sup>, М.З. Каримов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент И.И. Шарипов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>arina.vasileva2016@yandex.ru, <sup>2</sup>marat.karimov.0404@mail.ru

В данной статье рассмотрена проблема улавливания твердых частиц из потока газа. Рассмотрены аппараты для очистки газов от частиц. Представлена новая конструкция сепарационного устройства. Описание механизм улавливания частиц из газов. Показано, что при уменьшении ширины сепарационных каналов увеличивается скорость газа внутри устройства и уменьшаются диаметры вихрей в сепарационной зоне, а следовательно, увеличиваются центробежные силы и возрастает эффективность устройства.

**Ключевые слова:** сепаратор, улавливание частиц, центробежные силы, численное моделирование, сепарационное устройство.

## CAPTURE OF FINE PARTICLES BY A SEPARATION DEVICE WITH SQUARE-SHAPED CHANNELS

A.S. Vasilyeva<sup>1</sup>, M.Z. Karimov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>arina.vasileva2016@yandex.ru, <sup>2</sup>marat.karimov.0404@mail.ru

In this article, the problem of capturing solid particles from a gas stream is considered. Devices for cleaning gases from particles are considered. A new design of the separation device is presented. Description of the mechanism of capturing particles from gases. It is shown that with a decrease in the width of the separation channels, the gas velocity inside the device increases and the diameters of the vortices in the separation zone decrease, and consequently, the centrifugal forces increase and the efficiency of the device increases.

**Keywords:** separator, particle trapping, centrifugal forces, numerical simulation, separation device.

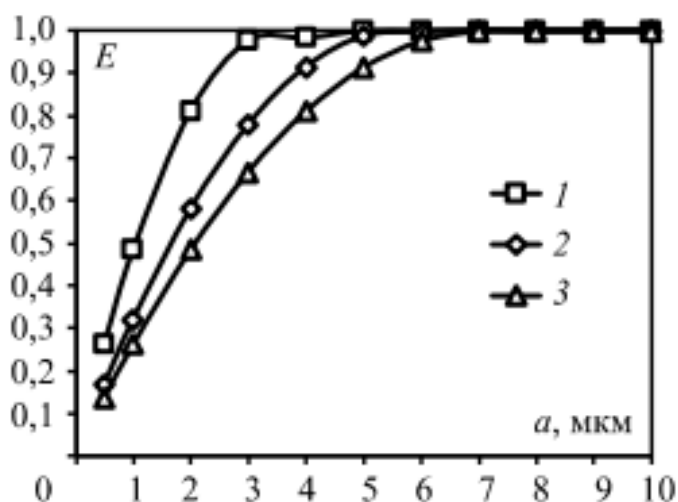
С целью очищения газовых выбросов промышленных компаний используются механизированный, гальванический, физико-химический методы очищения газа.

Традиционное спецоборудование (пылеуловители) можно классифицировать по 4 ключевым группам: гравитационные пылеуловители; электростатические пылеуловители; рукавные фильтры; циклонные сепараторы. Те или иные модели имеют свои достоинства и недостатки. Разработка более эффективных аппаратов будет всегда актуальна.

В работе [1] предлагается конструкция сепаратора для удаления из газов мелких твердых частиц [2].

Целью исследования является определение эффективности данного аппарата.

При уменьшении ширины сепарационных каналов увеличивается скорость газа внутри устройства и уменьшаются диаметры вихрей в сепарационной зоне, а следовательно, увеличиваются центробежные силы и возрастает эффективность устройства [3].



Зависимости эффективности  $E$  улавливания частиц сепарационным устройством от диаметра частиц  $a$  при ширине каналов  $b$ : 1 - 50 мм; 2 - 80 мм; 3 - 100 мм

Расчетами по разработанной оценочной методике установлено, что по мере увеличения ширины каналов от 50 до 100 мм эффективность сепарации из газа мелкодисперсных частиц (диаметром 0,5...4,0 мкм) в сепарационном устройстве уменьшается от 70,4 до 47,3 %. При сепарации частиц размером более 5 мкм результативность сепарационного устройства близка к 100 % (при ширине квадратных каналов 50...100 мм и

входной скорости газового потока 5 м/с). Снижение производительности сепарации при увеличении ширины каналов связано с уменьшением скорости газа на выходе из круглых отверстий в стенках сепарационных каналов, а также с увеличением диаметра вихрей, так как эти факторы оказывают влияние на уменьшение центробежных сил (см. рисунок).

Таким образом, существенное влияние на эффективность устройства оказывает ширина квадратного канала, так как этой величиной определяется диаметр образующихся вихрей в сепарационной зоне.

### **Источники**

1. Биккулов, Р. Я. Оценка эффективности мультивихревого сепаратора при улавливании мелкодисперсных частиц из газовых потоков в системе подготовки воздуха в окрасочных камерах / Р. Я. Биккулов, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, Т. М. Тахавиев // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 1. – С. 38-43. – DOI 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_1\_38.

2. Салахова, Э. И. Исследование структуры газового потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 5. – С. 60-64. – DOI 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_5\_60.

3. Зинуров, В. Э. Определение расчетной скорости газового потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности в окрасочных камерах / В. Э. Зинуров, Р. Я. Биккулов, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, А. Н. Николаев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. № 5. С. 3-12. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-5-3-12.

## **ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОТЕКАНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ В АППАРАТАХ (ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКАХ)**

В.Э. Зинуров<sup>1</sup>, Д.М. Тахавиев<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р. техн. наук, доцент А.В. Дмитриев

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>2</sup>МБОУ «Гимназия № 122 имени Ж.А. Зайцевой», г. Казань

<sup>1</sup>vadd\_93@mail.ru, <sup>2</sup>tahavievdaniel@gmail.com

В работе рассмотрена проблема низкой эффективности классификатор и сепараторов. Отмечено, что численное моделирование (создание цифровых двойников) позволяет решить данную проблему с минимальными экономическими и временными затратами. В работе предложена конструкция классификатора-сепаратора. Показано, что сепарация частиц из газа происходит преимущественно за счет центробежных сил. Проведены численные исследования в Ansys Fluent. Сделан вывод, что увеличение плотности и диаметра частиц, скорости газа на входе в аппарат приводит к повышению его эффективности, т.к. эффект от инерционных и центробежных сил существенно увеличивается.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, моделирование, классификатор, сепаратор, центробежные силы, трехмерная модель, визуализация потока.

## **THREE-DIMENSIONAL MODELING AND VISUALIZATION OF THE FLOW OF GAS-DYNAMIC PROCESSES AND PARTICLE MOTION IN APPARATUSES (DIGITAL TWINS)**

V.E. Zinurov<sup>1</sup>, D.M. Takhaviev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>2</sup>MBOU "Gymnasium № 122 named after Zh.A. Zaitseva", Kazan

<sup>1</sup>vadd\_93@mail.ru, <sup>2</sup>tahavievdaniel@gmail.com

The paper considers the problem of low efficiency of classifiers and separators. It is noted that numerical modeling (creation of digital doubles) allows solving this problem with minimal economic and time costs. The paper proposes the design of a classifier-separator. It is shown that the separation of particles from gas occurs mainly due to centrifugal forces. Numerical studies have been carried out in Ansys Fluent. It is concluded that an increase in the density and diameter of particles, the gas velocity at the inlet to the apparatus leads to an

increase in its efficiency, because the effect of inertial and centrifugal forces increases significantly.

**Keywords:** digital double, modeling, classifier, separator, centrifugal forces, three-dimensional model, flow visualization.

Низкая эффективность классификаторов-сепараторов на различных предприятиях в большей мере обусловлена существенно изменяющимися параметрами (скоростью газа в технологической линии, диаметра и концентрации частиц и др.) на конкретном объекте. Поэтому необходима доработка аппарата для каждого предприятия индивидуально. Численное моделирование (создание цифровых двойников) позволяет решить данную проблему с минимальными экономическими и временными затратами.

На настоящий момент времени актуальной задачей является способность построения трехмерной модели промышленного аппарата и исследование его ключевых параметров при различных условиях, например, различной входной скорости газового потока, давлении, температуры и др., с целью оптимизации и повышения эффективности.

Авторами работы была создана трехмерная модель классификатора-сепаратора, которая применяется на предприятии ООО «Салаватский катализаторный завод» [1]. Учитывая, что созданная модель является уменьшенной копией физического объекта, то при возможности на ее основе прогнозировать изменение ключевых параметров при варьировании иных параметров, например, скорости, она будет являться цифровым двойником, которая поможет оптимизировать работу технологической линии, предприятия или бизнеса в целом. Необходимо отметить, что разделение твердой фазы от текучей среды в таком аппарате осуществляется за счет центробежных сил. Вихревая структура может формироваться также и в корпусе квадратной формы [2].

Целью данной работы является исследование конструкции данного аппарата при изменении различных теплофизических и конструктивных параметров.

Исследование и визуализация влияния входной скорости газового потока, диаметра и плотности твердых частиц на эффективность классификатора-сепаратора проводилась в программном комплексе Ansys Fluent. Также было рассмотрено влияние конструктивных параметров аппарата на его эффективность и гидравлическое сопротивление [3].

В ходе проведения численных исследований было установлено, что при диаметре круглых отверстий, проделанных в пластине классификатора-сепаратора равным 8 мм, достигается высокая

эффективность фракционирования более 70 – 95 % для крупности граничного зерна 20 – 50 мкм при входных скоростях газового потока от 1 до 16 м/с. При уменьшении линейных размеров прямоугольных щелей, которые проделаны во внутренней трубе, увеличивается гидравлическое сопротивление. Это обусловлено тем, что газовому потоку с частицами сложнее проходить. С другой стороны, повысилась эффективность аппарата.

Увеличение плотности и диаметра частиц, скорости газа на входе в аппарат приводит к увеличению его эффективности, т.к. эффект от инерционных и центробежных сил существенно увеличивается.

Вихревая структура в устройстве была подтверждена экспериментально и с помощью численного моделирования [4].

Достоинствами разработанной конструкции являются ее простота, легкость в эксплуатации, низкая стоимость, высокая производительность.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ СП – 3577.2022.1 и Всероссийской образовательной инициативе «Сириус.Лето: начни свой проект» (№ заявки: 100220220513578079).

#### **Источники**

1. Зинуров, В. Э. Промышленные испытания фракционирования сыпучего материала в мультивихревом классификаторе-сепараторе / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, К. С. Моисеева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 58-63.

2. Зинуров, В. Э. Определение расчетной скорости газового потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности в окрасочных камерах / В. Э. Зинуров, Р. Я. Биккулов, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, А. Н. Николаев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. № 5. С. 3-12.

3. Зинуров, В. Э. Повышение энергоэффективности технологических линий по получению аэросила путем установки сепаратора с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова, Р. Я. Биккулов // Промышленная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 29-35.

4. Zinurov, V. E. Numerical simulation of pressure loss in a classifier with coaxial pipes / V. E. Zinurov, V. V. Kharkov, I. N. Madyshev // Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). – 2022. – No. 10-1. – P. 173-181.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА В СЕПАРАТОРЕ

И.С. Илларионов<sup>1</sup>, Д.Р. Насибуллин<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.И. Шарипов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>igor.illarionov2004@mail.ru, <sup>2</sup>nasibullinn03@gmail.com

В данной работе рассматривается проблема очистки газового потока от мелкодисперсных частиц на различных промышленных предприятиях. Существующие пылеуловители обладают недостатками, такими как невысокая эффективность в улавливании тонкодисперсных частиц, высокое гидравлическое сопротивление и эрозия при эксплуатации. В работе предлагается использование сепарационного устройства с дугообразными элементами для улавливания мелкодисперсных частиц из газовых выбросов. Преимуществами этого устройства являются высокая эффективность улавливания мелкодисперсных частиц, низкое гидравлическое сопротивление и отсутствие движущихся механизмов. С помощью программного обеспечения Ansys Fluent была проведена численная моделирование сепарационного устройства с дугообразными элементами при разных входных скоростях газа. Результаты показали, что волнообразная структура потока, зависящая от входной скорости газа, является определяющим фактором работы устройства. Дугообразные элементы создают структуру потока, которая способствует эффективному осаждению мелкодисперсных частиц.

**Ключевые слова:** пылеуловители, мелкодисперсные частицы, сепарационное устройство, дугообразные элементы, центробежные силы, потери давления.

## INVESTIGATION OF THE GAS FLOW STRUCTURE IN THE SEPARATOR

I.S. Illarionov<sup>1</sup>, D.R. Nasibullin<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>igor.illarionov2004@mail.ru, <sup>2</sup>nasibullinn03@gmail.com

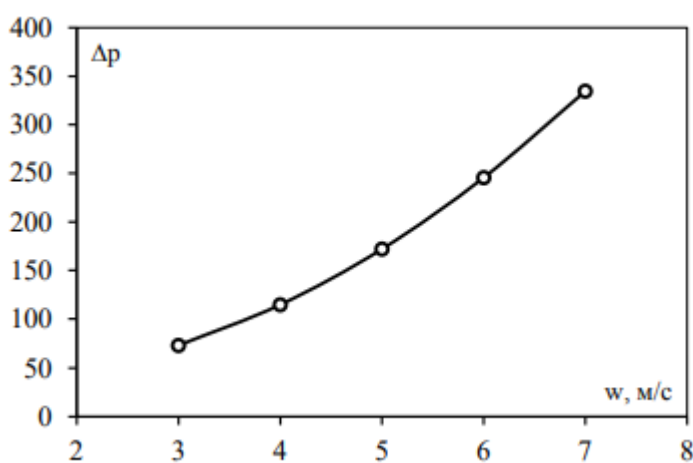
In this paper, the problem of cleaning the gas stream from fine particles at various industrial enterprises is considered. Existing dust collectors have disadvantages, such as low efficiency in capturing fine particles, high hydraulic resistance and erosion during operation. The paper proposes the use of a separation device with arc-shaped elements to capture fine

particles from gas emissions. The advantages of this device are high efficiency of catching fine particles, low hydraulic resistance and the absence of moving mechanisms. Numerical simulation of a separation device with arc-shaped elements at different input gas velocities was carried out using the Ansys Fluent software. The results showed that the wave-like structure of the flow, depending on the input velocity of the gas, is the determining factor in the operation of the device. Arc-shaped elements create a flow structure that contributes to the efficient deposition of fine particles.

**Keywords:** dust collectors, fine particles, separation device, arc-shaped elements, centrifugal forces, pressure losses.

Проблема загрязнения воздуха газовыми выбросами промышленных предприятий является актуальной и по сей день. Для решения этой проблемы необходимо разработка новых сепарационных аппаратов. В работе предлагается конструкция сепарационного устройства с дугообразными элементами внутри [1].

В работе проводилось численное моделирование в программном комплексе Ansys Fluent [2].



Зависимость потери давления от скорости газа на входе в сепаратор

Используя программное обеспечение Ansys Fluent и заданные граничные условия, были получены значения скоростей в диапазоне от 2,43 м/с до 11,65 м/с, а также были построены линии тока, отображающие движение потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами (см.рисунок).

Таким образом, в результате исследования газодинамических структур движения потоков в сепарационном устройстве с дугообразными элементами были выявлены зависимости скорости потока от входного



давления. При малых входных скоростях поток движется более хаотично и волнообразно, чем при более высоких скоростях. Нулевая скорость газа в области дугообразных элементов позволяет эффективно улавливать частицы.

Сепарационное устройство с дугообразными элементами имеет высокую эффективность улавливания мелкодисперсных частиц, относительно низкое гидравлическое сопротивление и отсутствие движущихся механизмов [3].

### Источники

1. Зинуров, В.Э. Оценка энергетических затрат на улавливание мелкодисперсных частиц в сепараторе с дугообразными элементами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, В. В. Харьков, Т. С. Петрова // Вестник технологического университета. – 2020. – Т. 23. - № 2. – С. 82-85.

2. Салахова, Э. И. Пылеулавливающее устройство для блоков дегидрирования парафиновых углеводородов с кипящим слоем катализатора / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, И. Р. Набиуллин, И. И. Салахов // Катализ в промышленности. – 2022. – Т. 22. – № 2. – С. 57-64. - DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-57-64.

3. Салахова, Э. И. Исследование структуры газового потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 5. – С. 60-64. – DOI 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_5\_60.

УДК 621.928.6

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАССИФИКАТОРА-СЕПАРАТОРА

Д.И. Каримова<sup>1</sup>, Э.А. Лашкина<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. И.И. Шарипов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>dilar4.karimova@yandex.ru, <sup>2</sup>eva.eva.eva05@mail.ru

В работе рассмотрена проблема очистки газовых потоков от твердых взвешенных частиц. В работе предложена конструкция устройства с соосно расположенными трубами. Проведены численные исследования. В докладе показано, что наиболее эффективным является угол раскрытия 60 градусов щелей сепаратора. При этом значении коэффициент очистки газа от пыли достигал 99,9%.

**Ключевые слова:** взвешенные частицы в газе, твердые частицы, пыль, сепарационное устройство, сепаратор, вихрь.

## NUMERICAL STUDY OF THE CLASSIFIER-SEPARATOR

D.I. Karimova<sup>1</sup>, E.A. Lashkina<sup>2</sup>

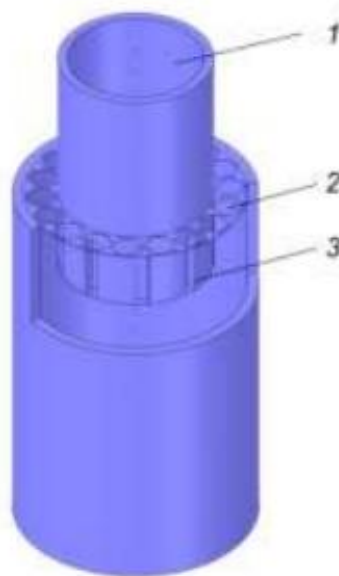
KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>dilar4.karimova@yandex.ru, <sup>2</sup>eva.eva.eva05@mail.ru

The paper considers the problem of purification of gas flows from solid suspended particles. The paper proposes the design of a device with coaxially arranged pipes. Numerical studies have been carried out. The report shows that the most effective is the opening angle of 60 degrees of the separator slots. At this value, the gas purification coefficient from dust reached 99.9%.

**Keywords:** suspended particles in gas, solid particles, dust, separation device, separator, vortex.

Сепаратор с соосно расположенными трубами (см. рисунок) является эффективным устройством для обеспыливания газовых выбросов. Однако, эффективность его работы может зависеть от различных факторов, включая угол раскрытия прямоугольных щелей [1, 2].



Модель предлагаемого устройства: 1 – вход; 2 – пластина с прорезями; 3 - щели

Для оценки эффективности сепаратора проводятся эксперименты, в которых измеряются показатели качества очистки газа от пыли. Одним из

такими показателями является коэффициент очистки газа от пыли, который определяется как отношение массы пыли в газе на входе и выходе из сепаратора.

При проведении экспериментов с различными углами раскрытия прямоугольных щелей было выявлено, что наиболее эффективным является угол раскрытия 60 градусов. При этом коэффициент очистки газа от пыли достигал 99,9%.

Однако, следует отметить, что эффективность работы сепаратора может быть ограничена другими факторами, такими как скорость газа и размер частиц пыли. Поэтому перед выбором сепаратора необходимо провести тщательный анализ условий эксплуатации и требований к очистке газа.

Таким образом, сепаратор с соосно расположенными трубами при правильном выборе угла раскрытия прямоугольных щелей может быть эффективным устройством для обеспыливания газовых выбросов. Однако, для достижения максимальной эффективности необходимо учитывать и другие факторы, влияющие на работу сепаратора.

### **Источники**

1. Биккулов, Р. Я. Оценка эффективности мультивихревого сепаратора при улавливании мелкодисперсных частиц из газовых потоков в системе подготовки воздуха в окрасочных камерах / Р. Я. Биккулов, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, Т. М. Тахавиев // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 1. – С. 38-43. – DOI 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_1\_38.

2. Зинуров, В. Э. Оценка эффективности сепаратора с соосно расположенными трубами при обеспыливании газовых выбросов при различном угле раскрытия прямоугольных щелей / В. Э. Зинуров, И. И. Насырова, И. Н. Мадышев, А. А. Галиев // Ползуновский вестник. – 2022. – № 4. – Т. 2. - С. 39-47. DOI: 10.25712/ASTU.2072- 8921.2022.4.2.006

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С ДВУТАВРОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

И.Г. Кулай<sup>1</sup>, Г.Г. Шагиева<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент О.С. Попкова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kulai@maill.ru, <sup>2</sup>shagieva.gulnaz15@yandex.ru

В статье представлена проблема низкой эффективности очистительных аппаратов при улавливании частиц размером до 10 мкм. Предложено сепарационное устройство с двутавровыми элементами. Описан механизм удаления частиц из газа. Показано, что установка сепаратора перед фильтрами позволит уменьшить пропуск частиц пыли через системы пылеудаления. В докладе представлена инженерная методика расчета данного сепарационного устройства.

**Ключевые слова:** двутавровые элементы, системы пылеулавливания, пыль, мелкие частицы, тонкодисперсные частицы, фильтры.

## INVESTIGATION OF A SEPARATION DEVICE WITH I-BEAM ELEMENTS

I.G. Kulai<sup>1</sup>, G.G. Shagieva<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>kulai@maill.ru, <sup>2</sup>shagieva.gulnaz15@yandex.ru

The article presents the problem of low efficiency of cleaning devices when capturing particles up to 10 microns in size. A separation device with I-beam elements is proposed. The mechanism of removing particles from the gas is described. It is shown that installing a separator in front of the filters will reduce the passage of dust particles through the dust removal systems. The report presents an engineering method for calculating this separation device.

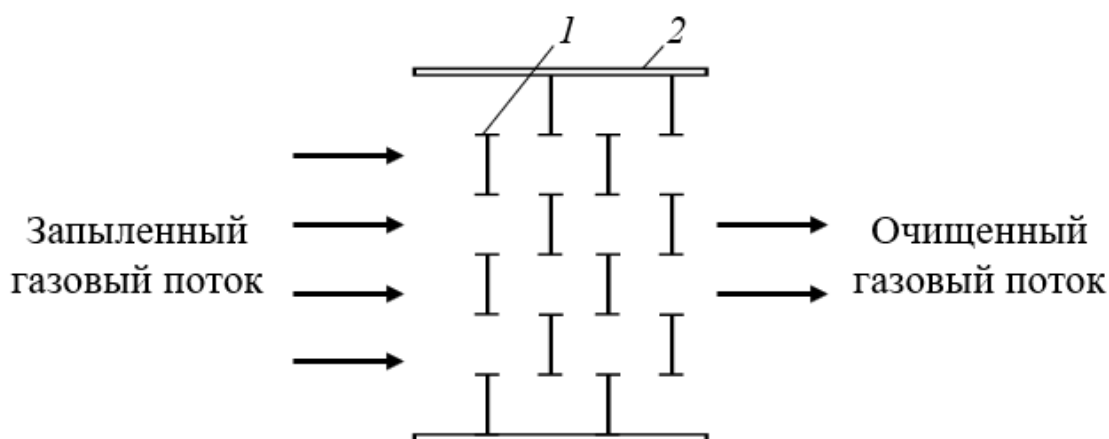
**Keywords:** I-beam elements, dust collection systems, dust, fine particles, fine particles, filters.

Улавливание мелкодисперсных частиц из газовых потоков является актуальной задачей для многих промышленных предприятий (энергетических, металлургических, горных и др.), использующих в своих системах очистки технологических газов от механических примесей сухие

инерционные аппараты. С течением времени актуальной данной проблемы увеличивается. Это связано с импортозамещением. Отечественные аппараты по некоторым характеристикам уступают импортным аналогам.

Наиболее распространенными аппаратами сухой инерционной очистки газов являются пылеосадительные камеры, жалюзийные аппараты, циклоны и др. Актуальной задачей является повышение их эффективности или разработки более совершенных аппаратов. Целью данной работы является исследование устройства с двутавровыми элементами.

Для решения поставленной проблемы предлагается устройство (см. рисунок). Внутри которого располагается множество двутавровых элементов [1-3].



Движение потока газа внутри устройства (вид сверху): 1 – двутавровые элементы;  
2 – стенки устройства

Механизм удаления частиц из газа внутри данного устройства можно описать следующим образом: при огибании газом элементы возникают центробежные силы, которые действуют на частицы. В результате частицы выбиваются из потока к элементам и постепенно падают в бункер устройства.

В ходе разработки трехмерной модели экспериментальной установки прямоугольного сепаратора ставились следующие задачи: простота сборки и разборки устройства, дешевизна и простота изготовления комплектующих элементов.

Блок двутавровых элементов заключается в корпус прямоугольной формы. Для исключения расшатывания конструктивных элементов устройства в корпус вставляются по 2 шпильке снизу и сверху. К полученной конструкции крепится входной патрубок для вставки устройства в воздуховод.

Таким образом, сперва запыленный газовой поток будет очищаться в аппаратах грубой очистки от крупных частиц размером более 10 – 20 мкм. После чего основная часть мелкодисперсных частиц размером 1 – 10 мкм будет улавливаться в прямоугольном сепараторе, который будет установлен перед фильтром тонкой очистки, что позволит продлить его эксплуатационный срок службы.

В докладе показана инженерная методика расчета данного сепарационного устройства. Представлены результаты численного моделирования.

### Источники

1. Дмитриев, А. В. Влияние конструктивного оформления элементов прямоугольного сепаратора на эффективность очистки газа от твердых частиц / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, А. А. Галиев // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21. – № 9. – С. 58-61.

2. Зинуров, В. Э. Исследование очистки газового потока от различных фракций пылевидных частиц сепаратором трапециевидной формы / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, М. О. Уткин // Вестник технологического университета. - 2019. – Т. 22. – № 10. – С. 68-71.

3. Зинуров, В. Э. Улавливание мелкодисперсных капель из газового потока в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева // Промышленная энергетика. - 2020. - № 12. – С. 47-53. DOI: 10.34831/EP.2020.23.49.008

УДК 004.921

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.А. Лавриков<sup>1</sup>, В.В. Титенков<sup>2</sup>

Науч. рук. В.А. Рукавишников

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vasiliylavricov@mail.ru, <sup>2</sup>VyacheslavT90@yandex.ru

В статье рассматриваются основные достоинства современных технологий 3D-моделирования и 3D-печати. Представлены основные отрасли, в которых применяются технологий 3D-моделирования и 3D-печати. Также рассмотрены ключевые проблемы, препятствующие более широкому распространению данных технологий, и представлены возможные пути их решения.

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, 3D-печать, изделие, конструкторская документация, 3D-технологии.

# MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES: PROBLEMS, SOLUTIONS AND PROSPECTS

V.A. Lavricov<sup>1</sup>, V.V. Titenkov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>vasiliylavricov@mail.ru, <sup>2</sup>VyacheslavT90@yandex.ru

The article discusses the main advantages of modern 3D modeling and 3D printing technologies. The main industries in which 3D modeling and 3D printing technologies are used are presented. It also takes into account the main problems that hinder the spread of data dissemination technologies, and finds possible ways to solve them.

**Keywords:** 3D modeling, 3D printing, product, design documentation, 3D technologies.

В современном мире технологии 3D-печати и 3D-моделирования играют важную роль. Они применяются в таких отраслях как машиностроение, судостроение, строительство и архитектура, энергетика (в том числе ядерная), медицина, нефтегазовая промышленность [1]. Данные технологии медленно, но верно сменяют традиционную технологию черчения. 3D моделирование дает наглядное представление о будущем изделии, и даже позволяют измерить его необходимые характеристики, такие как прочность, вес, предельная нагрузка. Многообразие технологий 3D печати позволяет подобрать наиболее оптимальный метод под конкретную отрасль производства так, чтобы получившиеся изделия не только не уступали изделиям, произведенным обычными способами, но и по некоторым характеристикам даже превосходили их.

Основная проблема, которая мешает большему внедрению таких технологий развитию их потенциала, это отсутствие квалифицированных специалистов и необходимых условий для их обучения [2].

Решение данной проблемы необходимо начинать с внедрения в учебную программу высших учебных заведений соответствующей дисциплины. К примеру, в КГЭУ такая дисциплина называется инженерно-геометрическое моделирование, на ней студенты, начиная с первого курса, изучают различные методы и технологии построения 3D-моделей, создания конструкторской документации и 3D-печати. Однако подобная дисциплина есть далеко не в каждом ВУЗе, что и является первопричиной отсутствия у людей мотивации работать в сфере 3D-технологий.

Для повышения вовлеченности молодых специалистов в данную сферу деятельность необходимо регулярно проводить различные мероприятия по повышению интереса учащихся к 3D-технологиям. Это могут быть различные олимпиады, мастер-классы.

Другой важной проблемой является создание качественной и реалистичной 3D-модели [3]. Это может занять много времени и требует от специалистов хорошей подготовки. Решение этой проблемы включает в себя использование технологий сканирования, лазерного сканирования, фотограмметрии и другие методы, которые позволяют получить точные данные о форме объекта и создать его точную модель. Также существуют специализированные программы для 3D-моделирования, которые предоставляют инструменты для оптимизации и создания высококачественной модели. Многие из этих программ автоматизируют некоторые процессы, что позволяет сэкономить время и улучшить качество модели. Некоторые программы позволяют настраивать свой интерфейс под конкретные требования владельца, что повышает эргономику процесса моделирования и также экономит время на создании модели. [4]

Таким образом, 3D-моделирование - это сложный процесс с множеством проблем, и потому его использование требует хороших знаний и опыта в этой области. Тем не менее, достоинства 3D-технологий дают огромное количество возможностей для оптимизации различных производственных процессов, и потому готовить специалистов в этой области необходимо, поскольку у них есть большой потенциал. Такие крупные компании как General Electric, Boeing, Ford и Nike уже достаточно давно пользуются технологиями 3D-печати и 3D-моделирования, оптимизируя и удешевляя производства некоторых компонентов своей продукции, без потери качества, и именно поэтому развитие данных технологий является актуальным направлением современной промышленности и энергетики.

### **Источники**

1. Современные 3D-технологии в архитектуре и строительстве [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/412/90636/> (дата обращения: 03.03.2023).
2. Отрасли применения 3D-технологий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iqb.ru/industries/> (дата обращения: 03.03.2023).



3. Всё о 3D-печати. Аддитивное производство. Основные понятия [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology](https://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology) (дата обращения: 03.03.2023).

4. SLM-печать: инновационная технология селективного плавления [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ils-mark.ru/technologies/additivnyye-tekhnologii/slm/> (дата обращения: 24.02.2023).

УДК 532.526

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЛЬТИВИХРЕВЫХ КЛАССИФИКАТОРОВ С РАЗНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ НАКЛОННЫХ КРУГОВЫХ ПЛАСТИН

А.М. Мугинов

Науч. рук. асс. В.А. Зинуров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
aqwewerr@gmail.com

В статье приведён результат сравнительного анализа эффективности классификаторов с 3 и 2 наклонными круговыми пластинами.

**Ключевые слова:** моделирование, фракционирование, классификатор, модель, наклонные круговые пластины, сепаратор, аппарат.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF MULTI- VORTEX CLASSIFIERS WITH A DIFFERENT NUMBER OF INCLINED CIRCULAR PLATES

A.M. Muginov

KSPEU, Kazan  
aqwewerr@gmail.com

The article presents the result of a comparative analysis of the effectiveness of classifiers with 3 and 2 inclined circular plates.

**Keywords:** modeling, fractionation, classifier, model, inclined circular plates, separator, apparatus.

В работах [1-3] показано, что существует проблема фракционирования мелкодисперсных частиц с высокой селективностью. В

работе [4] предлагается аппарат, который позволяет разделять сыпучий материал на основе силикагеля с граничным зерном равным 40 мкм. Однако, задача повышения селективности остается актуальной.

В данной работе предлагается модернизировать классификатор [5] путем установки круговых наклонных пластин внутри аппарата. Рассмотрены конструкции с 2 и 3 круговыми наклонными пластинами (см. рисунок 1).

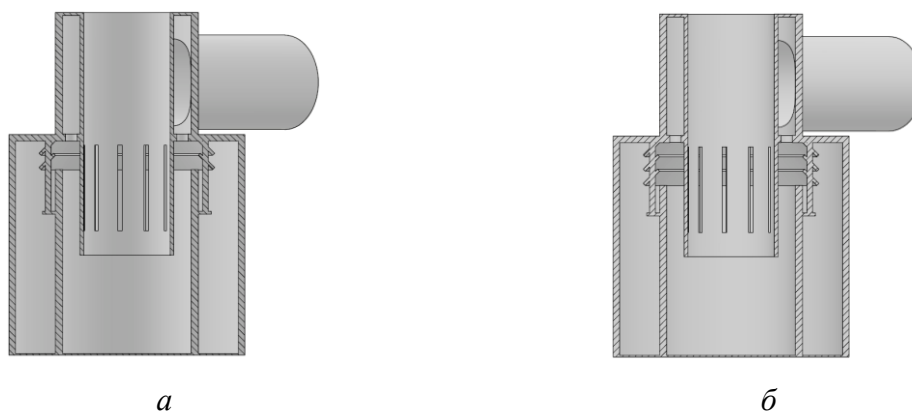


Рис. 1. *а* – 3D модель исследуемого аппарата с внедрением 2 круговых наклонных пластин; *б* – 3D модель исследуемого аппарата с внедрением 3 круговых наклонных пластин.

При создании 3D модели модифицированного аппарата основные размеры задавались аналогично исходным. Дополнительный патрубок имеет диаметр 165×4,5 (ГОСТ 3262 – 75), высоту – 157 мм. Основные геометрические параметры круговых наклонных пластин представлены на рисунке 2. Пластины закреплены посредством четырёх шпилек длиной 52 мм и диаметром 4 мм.

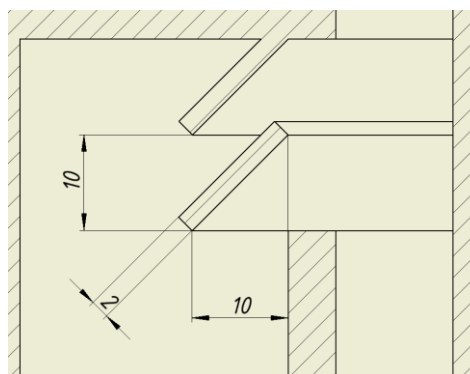


Рис. 2. Основные геометрические параметры круговых наклонных пластин

Проведено математическое моделирование гидрогазодинамических процессов в рассматриваемых классификаторах для выявления зависимостей между эффективностью улавливания частиц и диаметром частиц при разных показателях скоростей подачи воздушного потока. Диаметры частиц, рассматриваемые при исследовании – от 5 до 100 мкм с шагом 5 мкм.

Из результатов исследования видно, что скачок эффективности улавливания частиц в аппарате с 3 пластинами при скорости подачи воздуха 4, 8, 12 м/с возникает, при размере частиц 50, 40, 45 мкм соответственно, а в аппарате с 2 пластинами при аналогичных скоростях подачи воздуха возникает, при размере частиц 45, 45, 45 мкм соответственно. К тому же эффективность улавливания частиц до 45 мкм классификатора с 2 пластинами при скорости подачи воздушного потока 12 м/с в среднем ниже чем у аналогичного аппарата с 3 пластинами при той же скорости воздушного потока, что является преимуществом для подобного классификатора. Это объясняется тем, что скорость подачи воздушного потока и эффективность улавливания частиц размером меньше граничного обратно пропорциональны, к тому же коэффициент обратной пропорциональности растёт с уменьшением количества наклонных круговых пластин.

В ходе исследования определена наиболее перспективная с точки зрения эффективности работы мультивихревого классификатора при относительно высоких скоростях подачи воздушного потока конструкция.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ молодым учёным и аспирантам СП – 3577.2022.1.

### **Источники**

1. Дмитриев, А. В. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, В. Л. Нгуен // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – Т. 10. – № 1(37). – С. 74-81.

2. Зинуров, В. Э. Промышленные испытания фракционирования сыпучего материала в мультивихревом классификаторе-сепараторе / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, К. С. Моисеева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 58-63.

3. Зинуров, В. Э. Газодинамика проточной части классификатора с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, И. И. Насырова, О. С. Дмитриева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 71-76.

4. Зинуров, В. Э. Техничко-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора / В. Э. Зинуров, А. Р. Галимова, И. Г. Ахметова, И. Н. Мадышев // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2022. – № 7. – С. 33-44.

5. Зинуров, В. Э. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля / В. Э. Зинуров, И. Н. Мадышев, А. Р. Ивахненко, И. В. Петрова // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 205-211.

УДК 532.526

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ДВУХ НАКЛОННЫХ КРУГОВЫХ ПЛАСТИН В МУЛЬТИВИХРЕВОЙ КЛАССИФИКАТОР**

А.М. Мугинов

Науч. рук. асс. В.А. Зинуров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
aqwewerr@gmail.com

В статье представлены трёхмерная модель мультивихревого классификатора с конструкционными соединениями, результаты анализа эффективности рассматриваемой конструкции, а также сделан вывод о целесообразности подобного изменения геометрических параметров.

**Ключевые слова:** моделирование, фракционирование, классификатор, модель, наклонные круговые пластины, сепаратор, аппарат.

## **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE INTRODUCTION OF TWO INCLINED CIRCULAR PLATES INTO A MULTIVIRVE CLASSIFIER**

A.M. Muginov

KSPEU, Kazan  
aqwewerr@gmail.com

The article presents a three-dimensional model of a multi-vortex classifier with structural connections, the results of an analysis of the effectiveness of the design under consideration and concludes that such a change in geometric parameters is advisable.

**Keywords:** modeling, fractionation, classifier, model, inclined circular plates, separator, apparatus.

На данный момент перед российской промышленностью стоит важная задача – импортозамещение. Для производства силикагеля – востребованного в промышленности абсорбента – применяется технологическая цепь по производству сыпучего материала определённой размерности. Для подобной технологической линии применяются классификаторы – аппараты для фракционирования. Однако на данный момент только импортные классификаторы отвечают производственным требованиям рассматриваемой отрасли. Именно поэтому есть необходимость в создании новых сепарационных аппаратов.

В данной статье предлагается модернизировать аппарат, предлагаемый в работе [1]. Для этого в конструкцию были внедрены две круговые наклонные пластины, а также дополнительный патрубок для улавливания крупнодисперсных частиц (см. рис.1). При создании 3D модели модифицированного аппарата основные размеры задавались аналогично исходным. Добавлен дополнительный патрубок для улавливания частиц, прошедших через проточки под наклонными круговыми пластинами, имеет диаметр  $165 \times 4,5$  (ГОСТ 3262 – 75), высоту – 157 мм. Основные геометрические параметры круговых наклонных пластин представлены на рисунке 2. Пластины закреплены посредством четырёх шпилек длиной 52 мм и диаметром 4 мм.

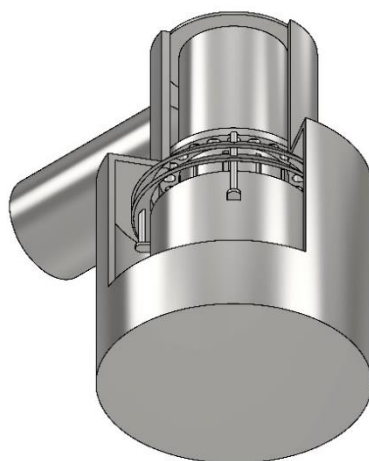


Рис. 1. 3D модель исследуемого аппарата с внедрением двух круговых наклонных пластин.

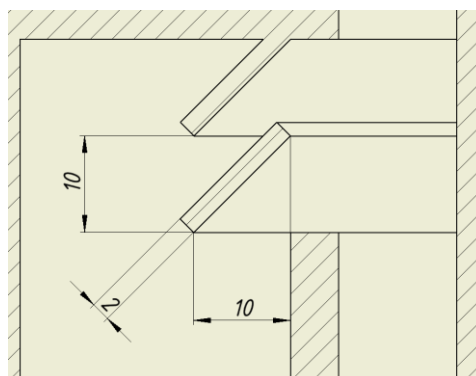


Рис. 2. Основные геометрические параметры круговых наклонных пластин

Проведено математическое моделирование гидрогазодинамических процессов в рассматриваемом классификаторе для выявления зависимостей между эффективностью улавливания частиц и диаметром частиц при разных показателях скоростей подачи воздушного потока. Диаметры частиц, рассматриваемые при исследовании, от 5 до 100 мкм с шагом 5 мкм, скорости подачи воздушного потока 4, 8, 12 м/с.

В итоге был получен график зависимости  $E$  – эффективности улавливания частиц, от  $a$  – размер частицы (см. рис.3).

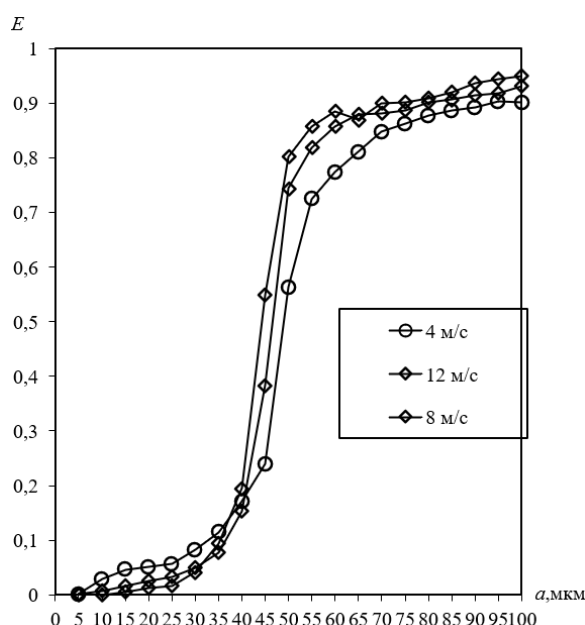


Рис. 3. График зависимости эффективности улавливания частиц  $E$  от размера частиц  $a$ .

Из графика видно, что при разных скоростях подачи воздуха пик эффективности улавливания частиц сосредоточен примерно в одной области: 35-50 мкм, что очевидно является преимуществом аппарата с конструкционными изменениям, ведь на подобном графике оригинальной версии аппарата пики для разных скоростей значительно разбросаны по

разным значениям  $a$ . Тем не менее, на графике можно наблюдать примеси мелкодисперсных частиц: 5-30 мкм, что является несомненным недостатком для классификатора.

В итоге можно сделать вывод о том, что внедрение двух круговых наклонных пластин, способствует нивелированию сильного разброса пиков эффективности улавливания частиц, но в тоже время снижает точность классификации.

### **Источники**

1. Зинуров, В. Э. Техничко-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора / В. Э. Зинуров, А. Р. Галимова, И. Г. Ахметова, И. Н. Мадышев // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2022. – № 7. – С. 33-44.

УДК 66.074.2

## **УДАЛЕНИЕ МЕЛКИХ ЧАСТИЦ ИЗ ГАЗА СЕПАРАЦИОННЫМ УСТРОЙСТВОМ С СООСНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ТРУБАМИ**

И.И. Насырова<sup>1</sup>, В.Э. Зинуров<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р. техн. наук, доцент А.В. Дмитриев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>iyuza2001@mail.ru, <sup>2</sup>vadd\_93@mail.ru

В статье рассмотрена проблема улавливания полидисперсных частиц размером до 15 мкм из газовых потоков. В работе предложен мультивихревой сепаратор с соосно расположенными трубами. Представлена трехмерная модель мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами. Описан принцип работы устройства. Новизной мультивихревого сепаратора является его конструкция, позволяющая создавать стабильную вихревую структуру в межтрубном пространстве при высоких значениях центробежных сил.

**Ключевые слова:** устройство для улавливания мелких частиц, мелкодисперсная пыль, сепарационное устройство, вихревой аппарат, центробежные силы.

# REMOVAL OF SMALL PARTICLES FROM THE GAS BY A SEPARATION DEVICE WITH COAXIALLY ARRANGED PIPES

I.I. Nasyrova<sup>1</sup>, V.E. Zinurov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>iyuza2001@mail.ru, <sup>2</sup>vadd\_93@mail.ru

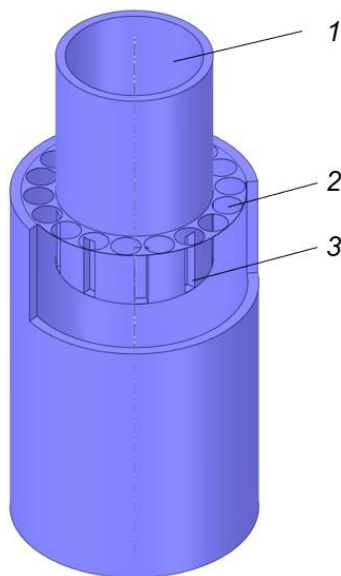
The article considers the problem of capturing polydisperse particles up to 15 microns in size from gas streams. The paper proposes a multi-vortex separator with coaxially arranged pipes. A three-dimensional model of a multi-vortex separator with coaxially arranged pipes is presented. The principle of operation of the device is described. The novelty of the multi-vortex separator is its design, which allows creating a stable vortex structure in the inter-tube space at high values of centrifugal forces.

**Keywords:** device for capturing fine particles, fine dust, separation device, vortex apparatus, centrifugal forces.

Очистка и улавливание частиц из газового потока является одним из наиболее важных проблем на многих промышленных предприятиях [1]. Для решения данной проблемы была создана конструкция мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами для улавливания твердых частиц из газового потока (см. рисунок). Основными элементами конструкции являются 2 цилиндрические трубы, поэтому устройство является простым в конструкции. Принцип действия представленного мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами заключается в следующем: поток газа поступает в устройство через входное отверстие 1, затем опускается в прямоугольные щели 3, при движении через них в межтрубное пространство разделяется на 2 струи, одна из которых перемещается в правую сторону, вторая - левую, при этом поток приобретает вихревое движение. После этого структурированные вихри перемещаются в верхнюю часть устройства в межтрубном пространстве и выходят в атмосферу через выходное отверстие 2.

Наличие отверстий 2 в пластине также позволяет поддерживать целостность вихрей в мультивихревом сепараторе.





Трехмерная модель сепаратора с соосно расположенными трубами: 1 – входное отверстие для подачи запыленного потока, 2 – выходные отверстия для очищенного газового потока, 3 – прямоугольные щели

Построение методики расчета конструктивных параметров сепаратора базируется на том, что в пространстве между трубами должны образовываться завихрения. В этом случае вихри следует формировать так, чтобы каждый вихрь имел точки контакта с расположенными рядом вихрями, чтобы выполнялось дополнительное совместное ускорение [2].

В перспективе ожидается проведение физического эксперимента, определение расчетной скорости будет проводиться с помощью трубы Вентури [3].

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

### Источники

1. Зинуров, В.Э. Газодинамика проточной части классификатора с соосно расположенными трубами / В.Э. Зинуров, А.В. Дмитриев, И.И. Насырова, О.С. Дмитриева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т.25. – № 4. – С. 71-76. – DOI 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_4\_71.

2. Дмитриев, А.В. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата / А.В. Дмитриев, В.Э. Зинуров, О.С. Дмитриева, В.Л. Нгуен // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – Т.10. – №1(37). – С. 74-81.

3. Зинуров, В.Э. Численное и экспериментальное исследование сужающего устройства на основе трубы Вентури / В.Э. Зинуров, И.И. Насырова, К.Д. Вьюгова, И.Н. Мадышев // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т.25. – №7. – С. 106-111.

УДК 66.021.4

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПО ИЗМЕРЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛО- И МАССООТДАЧИ ПРИ СУШКЕ ПАСТООБРАЗНОГО ФОСФОГИПСА ГОРЯЧИМ АГЛОМЕРАЦИОННЫМ ВОЗВРАТОМ**

В.А. Орехов

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент В.И. Бобков  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
fundukoff@mail.ru

В статье предлагается моделирование экспериментальной установки по измерению коэффициентов тепло- и массоотдачи при сушке фосфогипса горячим агломерационным возвратом. Актуальность применения данной установки обусловлена сложностью методики оценки показателей комбинированного метода сушки влажного фосфогипса. Для корректных расчетов количества затрачиваемых на обработку сырья ресурсов необходима правильная оценка величин, характеризующих процесс высушивания: коэффициента теплоотдачи от куска агломерата во влажную среду и коэффициента массоотдачи от высушиваемой области фосфогипса к поверхности засыпки через дисперсный слой [1]. Поэтому, для обеспечения энергоресурсоэффективности тепломассообменных процессов переработки техногенных отходов фосфатного рудного сырья, одной из актуальных задач, стоящих перед инженерами горнообогатительной отрасли является создание математических моделей, качественно и количественно описывающих процессы, происходящие в технологических агрегатах, в том числе, применяемых для сушки влажного пастообразного фосфогипса [2].

**Ключевые слова:** фосфогипс, энергоресурсоэффективность, сушка, агломерат, тепломассообмен.

# **SIMULATION OF THE EXPERIMENTAL SETUP FOR MEASURING HEAT AND MASS TRANSFER COEFFICIENTS DURING DRYING PHOSPHOGYPSUM IN THE FORM OF PASTE BY HOT AGGLOMERATION RETURN**

V.A. Orekhov

Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in  
Smolensk, Russia  
fundukoff@mail.ru

The article proposes a description of an experimental for measuring heat and mass transfer coefficients during hot return drying of phosphogypsum. The relevance of the application of this installation is due to the complexity of the methodology for assessing the drying performance of wet phosphogypsum. For correct calculations of the amount of resources spent on processing raw materials, a correct assessment of the values characterizing the drying process is necessary: the heat transfer coefficient from a piece of sinter to a humid environment and the mass transfer coefficient from the dried area of phosphogypsum to the surface of the filling through the dispersed layer. Therefore, in order to ensure the energy and resource efficiency of heat and mass transfer processes of processing technogenic wastes of phosphate ore raw materials, one of the urgent tasks facing engineers in the mining and processing industry is the creation of mathematical models that qualitatively and quantitatively describe the processes occurring in technological units, including those used for drying wet phosphogypsum paste.

**Keywords:** phosphogypsum, energy resource efficiency, drying, agglomerate, heat and mass transfer

Численные оценки этих коэффициентов проводить очень сложно из-за отсутствия экспериментальных данных по сушке пастообразных материалов дисперсной фазой [3]. Поэтому для определения искомых коэффициентов необходимо на лабораторных стендах моделировать процессы сушки, протекающие в барабанной сушилке. Непосредственные измерения коэффициентов теплообмена в барабанной сушилке затруднительны из-за вращения барабана. Поэтому предлагается определять искомые коэффициенты на «статической» установке, усредняя полученные данные по времени сушки и высоте засыпки таким образом, чтобы полученные усредненные коэффициенты характеризовали «динамическую» сушку во вращающемся барабане [4].

Установка для определения коэффициентов теплоотдачи от поверхности куска агломерата во влажный фосфогипс и массоотдачи от

высушиваемой области фосфогипса к поверхности засыпки через дисперсный слой состоит из двух основных частей: нагревательной печи и измерительного блока-стакана, установленного на весах с точностью измерения 0,1 г.

Образец агломерата с помощью системы подвески крепится к металлической подвижной штанге, которая, двигаясь вдоль направляющих верхней крышки, доставляет исследуемый кусок агломерата в измерительный стакан. На штанге, закреплены дифференциальные термометры, предназначенные для измерения температуры в центре исследуемого образца агломерата, а также около его поверхности. Внутри установки закреплены также термометры для определения температуры окружающей образец среды, один из которых является «мокрым».

Для уменьшения погрешности измерения и простоты изготовления измерительной части экспериментальной установки, исследуемый объект-кусок агломерата выбирается шарообразной формы, диаметром  $d_k = 4 \cdot 10^{-2}$  м. По предварительным прогнозам коэффициент теплоотдачи может быть порядка  $10^3 \div 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>К, что при  $d_k = 4 \cdot 10^{-2}$  м и  $\lambda = 1,6$  Вт/мК соответствует критерию Био  $Bi = 10 \div 100$  и времени охлаждения 3-4 минуты, что позволяет при измерении, в течении этого времени, температур агломерата и среды, знать локальное значение коэффициента теплоотдачи и усреднить его с меньшей погрешностью, чем при, например,  $d_k = 3 \cdot 10^{-3}$ , при котором время охлаждения образца равно 5-10 секунд. Полученное таким образом значение коэффициента теплоотдачи от куска агломерата к влажной среде можно подставить в уравнение  $Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda}$  для определения значения

критерия Био и с помощью уравнения  $\theta = \frac{T_0 - T(r, \tau)}{T_0 - T_c} = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)}{\mu_n \sin \mu_n \cos \mu_n} \cdot \frac{R \sin \mu_n}{r \mu_n} \cdot e^{-\mu_n^2 Fo}$  найти время

охлаждения куска, подставив его значение в уравнение, позволяющее определить временные параметры сушки. Аналогичным образом усредняются и значения коэффициента массоотдачи  $\beta$  и подставляется

среднее значение  $\bar{\beta}$  в уравнение  $\beta = \frac{\alpha(\theta_{a0} - \theta_{ак})}{r_0(\rho_{нс} - \rho_{пф})}$ , где  $\rho_{нс}$  -плотность паров

воды у поверхности теплообмена,  $\rho_{пф}$  -плотность паров воды на бесконечности, для определения времени  $\tau$ . Коэффициент теплоотдачи находится из уравнения Ньютона-Рихмана:

$$\bar{q} = \bar{\alpha}(\bar{T}_{\text{п}} - \bar{T}_{\text{ф}}), \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

где  $\bar{q}$  -плотность среднего теплового потока от агломерата в среду,  $\bar{\alpha}$  - усредненное значение коэффициента теплоотдачи при сушке от поверхности куска в среду,  $\bar{T}_{\text{п}}$  -среднее по времени сушки значение температуры поверхности куска,  $\bar{T}_{\text{ф}}$ -среднее по времени значение температуры среды (влажного фосфогипса). Плотность теплового потока можно определить, зная теплоемкость куска агломерата:

$$\bar{q} = \bar{C}_p \cdot m(\bar{T}_{\text{н}} - \bar{T}_{\text{к}}) / (F \cdot \tau), \text{ Вт/м}^2 \quad (2)$$

где  $\bar{C}_p$  -средняя удельная температура агломерата,  $\bar{T}_{\text{н}}$ -усредненная по радиусу куска температура в начальный момент сушки,  $\bar{T}_{\text{к}}$ -усредненная по радиусу куска температура в конечный момент сушки,  $m$ - масса куска агломерата.

Объединяя уравнения (1) и (2), получаем расчетную формулу для среднего коэффициента теплоотдачи при сушке фосфогипса:

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{C}_p \cdot m(\bar{T}_{\text{н}} - \bar{T}_{\text{к}})}{F \cdot \tau(\bar{T}_{\text{п}} - \bar{T}_{\text{ор}})} \text{ Вт/м}^2\text{К}, \text{ где } F \text{ -площадь поверхности куска, } \tau \text{ - время}$$

сушки. Таким образом, шарообразный образец агломерата с  $d_{\text{к}} = 4 \cdot 10^{-2}$  м испарит примерно  $m \sim 10$  г,  $\Delta m = 0,1$ ,  $\frac{\Delta m}{m} = 10^{-2}$ . Зная температуры мокрого

и сухого термометров, можно определить относительную влажность испаряемого продукта, а по известной влажности и температуре можно определить плотности  $\Delta \rho_{\text{п}}$  и  $\rho_{\text{п}}$  из таблиц состояния водяного пара на линии насыщения:  $\frac{\Delta \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}} \sim 2\%$ ,  $\frac{\Delta \beta_{\text{п}}}{\beta_{\text{п}}} = 4,3 \cdot 10^{-2}$ .

Полученные данные позволяют производить достоверные расчеты и строить корректные математические модели тепломассообменных процессов, происходящих в барабанной сушилке, применяемой для сушки влажного пастообразного фосфогипса, что, в свою очередь позволит выбирать оптимальные с точки зрения энергоресурсоэффективности режимы работы сушильного оборудования и достоверно прогнозировать процессы сушки сырья [5].

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-001

### Источники

1. Мешалкин В. П., Панченко С. В., Бобков В.И., Дли М.И. Анализ теплофизических и химико-технологических свойств отходов горно-обогатительных комбинатов // Теоретические основы химической технологии. 2020. Т. 54. № 1. С. 30-37.

2. Пучков А.Ю., Дли М.И., Прокимнов Н.Н., Шутова Д.Ю. Многоуровневые алгоритмы оценки и принятия решений по оптимальному управлению комплексной системой переработки мелкодисперсного рудного сырья // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 6. С. 102–121.

3. Орехов В.А., Бобков В.И. Особенности кинетики термической декарбонизации фосфоритов при обжиге // Материалы Восьмой Российской национальной конференции по теплообмену в 2-х томах. Том 1. Москва, 2022 С. 234–235.

4. Борисов В.В., Курилин С.П., Луферов В.С. Нечёткие реляционные когнитивные темпоральные модели для анализа и прогнозирования состояния сложных технических систем // Прикладная информатика. 2022. Т.17. №1(97). С.27–38.

5. Ключков М.А. К вопросу информационной поддержки систем управления технологическим процессом // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 1. С. 32-43.

УДК 620.193.13

## ЭРОЗИОННЫЙ ИЗНОС СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С ДУГООБРАЗНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Э.И. Салахова, Е.А. Козеев, В.Э. Зинуров  
Науч. рук. д-р техн. наук, доц. А.В. Дмитриев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Salahova.elmira@gmail.com

В работе рассмотрена проблема эрозионного износа аппаратов системы пылеулавливания промышленных предприятий. Авторами работы предложена конструкция нового пылеулавливающего устройства (НПУ). Показано, что сепарация частиц из газа в нем происходит за счет центробежного поля. Целью данной работы является численное исследование эрозионного износа НПУ. В ходе исследований было установлено, что при использовании НПУ с дугообразными элементами эрозионному износу подвержены элементы, а не корпус устройства, соответственно, вероятность эрозионного износа корпуса НПУ сведена к минимуму, как и излишняя потеря катализатора. Вследствие этого можно рекомендовать использовать НПУ с дугообразными элементами в качестве замены циклонного сепаратора.

**Ключевые слова:** эрозионный износ, эрозия, абразивные частицы, новое пылеулавливающее устройство, циклонный сепаратор, численное моделирование.

## **EROSIVE WEAR OF THE SEPARATION DEVICE WITH ARC-SHAPED ELEMENTS**

E.I. Salakhova, E.A. Kozeev, V.E. Zinurov

KSPEU, Kazan, Russia

Salakhova.elmira@gmail.com

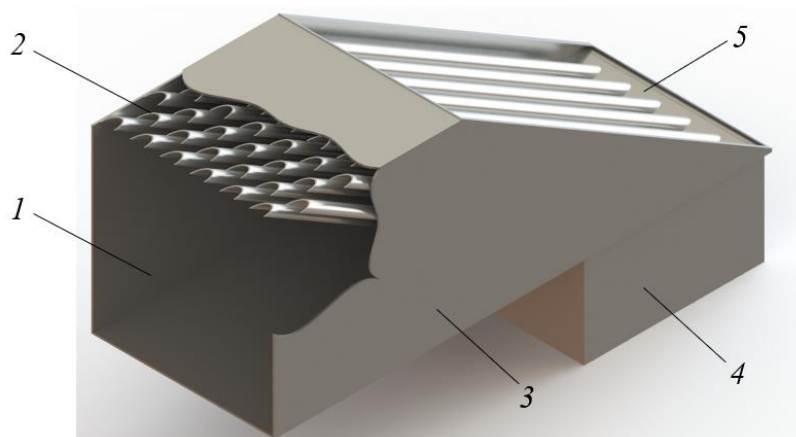
The paper considers the problem of erosive wear of dust collection system devices of industrial enterprises. The authors of the work proposed the design of a new dust collecting device (NPU). It is shown that the separation of particles from the gas in it occurs due to the centrifugal field. The purpose of this work is a numerical study of the erosion wear of the NPU. In the course of the research, it was found that when using the NPU with arc-shaped elements, the elements, and not the device body, are subject to erosive wear, respectively, the probability of erosive wear of the NPU body is minimized, as is the excessive loss of the catalyst. As a result, it can be recommended to use an NPU with arc-shaped elements as a replacement for a cyclone separator.

**Keywords:** erosive wear, erosion, abrasive particles, new dust collecting device, cyclone separator, numerical simulation.

Предприятия химической, нефтеперерабатывающей, металлургической и иных направленностей уделяют существенное внимание системам пылеулавливания. Основной единицей таких систем являются циклонные сепараторы. Несмотря на большое количество достоинств, основными недостатками являются относительно высокое гидравлическое сопротивление и быстрый эрозионный износ стенок при улавливании абразивных частиц. В связи с этим существует потребность в разработке устройства, которое будет обладать достоинствами циклонных сепараторов и не будет подвержен существенному эрозионному износу [1].

Авторами работы предлагается новое пылеулавливающее устройство (НПУ), которые состоит из несколько рядов дугообразных элементов, которые заключены в корпус (см. рисунок) [2].

Улавливание частиц из газа происходит за счет центробежного поля, которое создается при обтекании потоком газа дугообразных элементов. Частицы отбрасываются к стенкам элементов, выпадая из структуры потока, и постепенно оседают в бункере НПУ [3].



Модель пылеулавливающего устройства: 1 – входное отверстие; 2 – дугообразные сепарационные элементы; 3 – корпус устройства; 4 – бункер; 5 – выходное отверстие

Целью данной работы является численное исследование эрозионного износа НПУ.

На первом этапе была создана трехмерная модель НПУ. Основные ее размеры: высота – 0,9 м, ширина – 0,9 м и длина – 2,5 м.

На втором этапе создавалась расчетная сетка и задавались граничные условия. На входном патрубке в аппараты задавался объемный расход газа  $1,7 \text{ м}^3/\text{с}$ . На выходном патрубке для очищенного газа и на выходном отверстии для катализатора в бункер задавалось давление  $58839,9 \text{ Па}$  ( $0,6 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ). Температура газового потока принималось равной  $550^\circ\text{C}$ .

Численное моделирование НПУ с дугообразными элементами показало, что в отличие от циклона ЦН-15 стенки аппарата существенно менее подвержены эрозионному износу, который составляет не более  $2,31 \text{ мм}$  в год. Низкое значение скорости эрозии в год в НПУ относительно циклона ЦН-15 объясняется различием в структуре потока.

При использовании НПУ с дугообразными элементами эрозионному износу подвержены элементы, а не корпус устройства, соответственно, вероятность эрозионного износа корпуса НПУ сведена к минимуму, как и излишняя потеря катализатора. Вследствие этого можно рекомендовать использовать НПУ с дугообразными элементами в качестве замены циклонного сепаратора.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ СП – 3577.2022.1.



## Источники

1. Салахова, Э. И. Исследование структуры газового потока в сепарационном устройстве с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 5. – С. 60-64. – DOI 10.55421/1998-7072\_2022\_25\_5\_60.

2. Салахова, Э. И. Пылеулавливающее устройство для блоков дегидрирования парафиновых углеводородов с кипящим слоем катализатора / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, И. Р. Набиуллин, И. И. Салахов // Катализ в промышленности. – 2022. – Т. 22. – № 2. – С. 57-64. - DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-57-64.

3. Зинуров, В. Э. Определение расчетной скорости газового потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности в окрасочных камерах / В. Э. Зинуров, Р. Я. Биккулов, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, А. Н. Николаев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. № 5. С. 3-12. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-5-3-12.

УДК 66.074

## УДАЛЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ГАЗОВ В ОКРАСОЧНО-СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Т.М. Тахавиев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Т.О. Шинкевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Tahaviev2000@gmail.com

В работе рассмотрена проблема улавливание мелкодисперсных частиц в окрасочно-сушильных камерах. Показано, что с течением времени эффективность фильтров тонкой очистки уменьшается. Предложена конструкция мультивихревого сепаратора. Подробно описан механизм улавливания частиц в нем. Сделан вывод, что установка сепарационных устройств позволит как повысить эффективность всей системы пылеулавливания в целом, так и продлить эксплуатационный срок службы фильтров на несколько десятков суток.

**Ключевые слова:** мультивихревой сепаратор, мелкодисперсные частицы, фильтры тонкой очистки, окрасочная камера, сушильная камера.

# REMOVAL OF FINE PARTICLES FROM GASES IN PAINT-DRYING CHAMBERS

T.M. Takhaviev  
KSPEU, Kazan, Russia  
Tahaviev2000@gmail.com

The paper considers the problem of capturing fine particles in paint-drying chambers. It is shown that the efficiency of fine filters decreases over time. The design of a multi-vortex separator is proposed. The mechanism of capturing particles in it is described in detail. It is concluded that the installation of separation devices will both increase the efficiency of the entire dust collection system as a whole, and extend the operational life of filters for several tens of days.

**Keywords:** multi-vortex separator, fine particles, fine filters, paint chamber, drying chamber.

Широкое применение в различных отраслях промышленности: машиностроения, судостроения, авиастроения и пр. местах получили окрасочно-сушильные камеры. Они предназначены для нанесения лакокрасочных материалов на окрашиваемые поверхности различных изделий. В ходе процесса окраски выделяется большое количество мелкодисперсных частиц, которые представляют опасность как для работников, так и для предприятия в целом. Во-первых, при попадании в организм человека частицы приводят к заболеваниям дыхательной системы. Во-вторых, частицы легко воспламеняются, поэтому при попадании на поверхности других аппаратов, они могут привести к пожароопасным ситуациям. Для удаления частиц из газов применяются фильтры тонкой очистки. Однако, с течением времени их эффективность ухудшается [1]. Актуальной задачей является повышение эффективности фильтров тонкой очистки. Целью данной работы является поиск метода по повышению эффективности фильтров тонкой очистки в окрасочно-сушильной камере.

В работе [2] предложена конструкция мультивихревого сепаратора. Его применение перед фильтрами позволит существенно увеличить их срок эксплуатации и увеличить общую эффективность улавливания частиц лакокрасочного тумана (см. рисунок).



Мультивихревое сепарационное устройство в окрасочно-сушильной камере

Принцип действия устройства заключается в следующем. Поток газа с частицами входит через квадратные вырезы, далее он распределяется по круглым отверстиям, проделанным в стенках квадратных ячеек. За счет конструктивного оформления (квадратных вырезов) с другой стороны сепаратора образуются прямоугольные каналы. Таким образом, газ с частицами проходит через круглые отверстия и попадает в прямоугольные каналы, в которых завихрятся. Радиус вихрей очень мал, что позволяет создать завихрения с высокими центробежными силами. В результате мелкие частицы отбрасываются из газа к стенкам устройства и прилипают к ним. Очистка сепаратора осуществляется одновременно при замене фильтров тонкой очистки на новые.

Необходимо отметить, что при необходимости сепаратор может принять цилиндрическую форму [3], в которой также будет формироваться упорядоченная вихревая структура.

Установка таких сепарационных устройств позволит как повысить эффективность всей системы пылеулавливания в целом, так и продлить эксплуатационный срок службы фильтров на несколько десятков суток. Учитывая, что замена фильтров осуществляется в среднем 1 раз в месяц, то экономический эффект будет значимым.

Достоинствами предлагаемых сепарационных устройств является долговечность, дешевизна и простота в эксплуатации.

### **Источники**

1. Биккулов, Р. Я. Оценка эффективности мультивихревого сепаратора при улавливании мелкодисперсных частиц из газовых потоков в системе подготовки воздуха в окрасочных камерах / Р. Я. Биккулов, В. Э.

Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, Т. М. Тахавиев // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 1. – С. 38-43.

2. Зинуров, В. Э. Определение расчетной скорости газового потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности в окрасочных камерах / В. Э. Зинуров, Р. Я. Биккулов, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, А. Н. Николаев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. № 5. С. 3-12.

3. Зинуров, В. Э. Повышение энергоэффективности технологических линий по получению аэросила путем установки сепаратора с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова, Р. Я. Биккулов // Промышленная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 29-35.

УДК 621.45.022.5

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПРИ СЖИГАНИИ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

А.И. Хайрутдинова<sup>1</sup>, Ш.М. Шарипов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент О.С. Попкова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>faizullinamyau@gmail.com, <sup>2</sup>samasaka@yandex.ru

В работе рассмотрена проблема разработки отечественных котлов. Целью данной работы является численное моделирование камеры сгорания при сжигании газозвоздушной смеси. Представлена трехмерная модель камеры сгорания. Определены ее геометрические особенности. В результате исследований выявлено, что увеличение диаметра внешнего контура приводит к уменьшению лучистого и суммарного количества теплоты, следовательно, и к уменьшению эффективности котла. В проведенных исследованиях было продемонстрировано, что вследствие увеличения диаметра внешнего контура топки, уменьшаются важные параметры характерные для котла: лучистый тепловой поток, суммарный тепловой поток, температура поверхности внешнего контура, коэффициент теплоотдачи.

**Ключевые слова:** трехмерная модель камеры сгорания, сжигание газозвоздушной смеси, котел, газогорелочное устройство, котлы.

# NUMERICAL SIMULATION OF THE COMBUSTION CHAMBER DURING COMBUSTION OF A GAS-AIR MIXTURE

A.I. Khairutdinova<sup>1</sup>, Sh.M. Sharipov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>faizullinamyau@gmail.com, <sup>2</sup>samasaka@yandex.ru

The paper considers the problem of developing domestic boilers. The purpose of this work is numerical simulation of the combustion chamber during combustion of a gas-air mixture. A three-dimensional model of the combustion chamber is presented. Its geometric features are determined. As a result of the research, it was revealed that an increase in the diameter of the external circuit leads to a decrease in the radiant and total amount of heat, and therefore to a decrease in the efficiency of the boiler. In the conducted studies, it was demonstrated that due to an increase in the diameter of the outer contour of the furnace, important parameters characteristic of the boiler decrease: radiant heat flow, total heat flow, surface temperature of the outer contour, heat transfer coefficient.

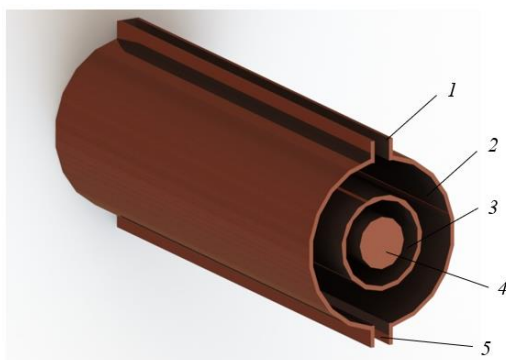
**Keywords:** three-dimensional model of the combustion chamber, combustion of the gas-air mixture, boiler, gas burner, boilers.

В энергетической, химической, металлургической и др. промышленности широко используют котлы различных модификаций. Необходимо отметить, что большая их часть приобретается за рубежом, что несет существенные риски при санкциях. В связи с этим возникает необходимость в разработке собственных аппаратов. Целью данной работы является численное моделирование камеры сгорания при сжигании газозоудшной смеси. Необходимо отметить, что тепловые потери при сгорании топлива в камере сгорания классифицируются на 3 составляющие: 1) потери теплоты, которые вызваны неполнотой сгорания топлива; 2) потери тепла, которые вызваны существенной разницей температур между цилиндрическими стенками котла и воздухом снаружи; 3) потери тепла с уходящими газами [1, 2].

Для численных исследований была создана трехмерная модель камеры сгорания котла мощностью 50 кВт. При проведении исследований рассматривалась 3D модели камеры сгорания со следующими параметрами: радиус газогорелочного устройства – 0,06 м, длина 0,6 м и длина внешнего контура 0,6 м.

В качестве граничных условий задавался массовый расход углеводородного топлива  $G = 0,00313$  кг/с, который был определен из

расчета использования котла мощностью 50 кВт, и давление окружающей среды  $10^5$  Па на выходе из камеры сгорания (см. рисунок).



Трехмерная модель камеры сгорания: 1 – вход; 2 – межтрубное пространство для движения теплоносителя; 3 – межтрубное пространство для движения газа; 4 – газогорелочное устройство; 5 - выход

Расчетным путем установлено, что при реакции горения природного газа в камере сгорания при температуре  $T = 2000$  К образуются следующие продукты горения:  $\text{CO}_2$  – 33,3 %,  $\text{H}_2\text{O}$  – 65,7 %,  $\text{N}_2$  – 0,01 %.

В результате исследований выявлено, что увеличение диаметра внешнего контура приводит к уменьшению лучистого и суммарного количества теплоты, следовательно, и к уменьшению эффективности котла. В проведенных исследованиях было продемонстрировано, что вследствие увеличения диаметра внешнего контура топки, уменьшаются важные параметры характерные для котла: лучистый тепловой поток, суммарный тепловой поток, температура поверхности внешнего контура, коэффициент теплоотдачи.

### Источники

1. Дмитриев, А. В. Оценочный расчет процесса теплообмена в камере сгорания при сжигании природного газа / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, Г. Х. Гумерова // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21. – № 2. – С. 99-103.

2. Павлов, Г. И. Разработка расчетной схемы камеры сгорания для сжигания щепы старых шпал / Г. И. Павлов, А. И. Ахметшина, А. Н. Сабирзянов, О. А. Тихонов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 1-2. – С. 3-13.

## Секция 4. Промышленная теплоэнергетика. Эксплуатация и надежность энергоустановок и систем теплоснабжения

УДК 662.998

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОГЕЛЕВЫХ КОМПОЗИТОВ КАК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ НА ОБЪЕКТАХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Т.Р. Абдуллин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

a@luftgaller.ru

В статье рассмотрены преимущества использования аэрогелевых композитов в качестве тепловой изоляции промышленных объектов энергетики.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, аэрогель, композиты, термочехлы.

### THE USE OF AEROGEL COMPOSITES AS THERMAL INSULATION AT INDUSTRIAL POWER FACILITIES

T.R. Abdullin

KSPEU, Kazan, Russia

a@luftgaller.ru

The article discusses the advantages of using aerogel composites as thermal insulation of industrial power facilities.

**Keywords:** thermal power engineering, aerogel, composites, thermal covers.

Энергоэффективность объекта повышается теплоизоляцией промышленного оборудования, также лучше поддерживая технологические параметры из-за меньших трат тепла и энергии при транспортировке или генерации. Руководители производств уделяют большое внимание качеству и эффективности тепловой изоляции, ведь каждый сохранённый киловатт – это сэкономленные деньги предприятия [1].

При изолировании запорной арматуры, например задвижек, кранов или клапанов, в основном используют теплоизоляционные маты, фиксируя их проволокой, на первый взгляд этот метод дешёв и прост, температура

на поверхности такого «мата» не превышает 45 градусов, что не нарушает нормативы промышленных предприятий, к тому же, при возникновении аварийной ситуации персонал быстро демонтирует теплоизоляцию и устраняет причину аварии [2].

Существует более эффективный и современный метод теплоизоляции запорной арматуры и сложных участков трубопровода – задвижек, поворотов и тройников – термочехлы или термокожухи. Термочехол состоит из внешней тепловой изоляции, покрытой специальным тканевым слоем. В среднем, срок службы при круглогодичном использовании таких термочехлов составляет не больше 2-3 лет, а при использовании в помещении – 10 и более. Главной проблемой термочехлов является скорая деградация теплоизоляционного слоя из-за постоянного воздействия сверхвысоких или сверхнизких температур, так как в качестве теплоизоляционного слоя используется традиционная изоляция, как минеральная вата, базальтовое волокно или пенополиуретан [3].

В век композитов и наноматериалов, как теплоизоляционный слой в термочехлах можно использовать инновационный аэрогелевый композит. Аэрогель энергоэффективнее традиционной тепловой изоляции, абсолютно гидрофобен, не подвергается тепловой деградации, не выделяет вредных соединений, не деформируется и не сыпется со временем, срок службы аэрогеля в таких термочехлах при соблюдении условий эксплуатации составляет от 30 и выше лет. Также необходимо отметить, что аэрогель легче и тоньше, при тех же параметрах теплоизоляции, а значит его легче транспортировать или монтировать на объектах.

На базе лаборатории кафедры была произведена тестовая партия термочехлов с аэрогелевыми композитами и смонтирована на задвижках нефтеперерабатывающего предприятия АО «Танеко». На рисунке ниже показан термочехол на задвижке малого размера, разработанный и произведенный для демонстрации креплений и проверки жизнеспособности материалов термочехла.

Из-за возможностей аэрогеля работать в среде высоких температур, возможно использование в высокотемпературных производственных объектах, под открытыми источниками пламени или с высокими требованиями к выделениям дымов, газов или вредных веществ [4].





Образец произведённого термочехла с аэрогелевыми композитами в составе

### Источники

1. Gaponenko S. O. Improving the efficiency of energy complexes and heat supply systems using mathematical modeling methods at the operational stage / S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // E3S Web of Conferences: 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 05029. – DOI 10.1051/e3sconf/201912405029. – EDN WGSUEF.

2. Шакурова Р. З. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов / Р. З. Шакурова, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 6. – С. 188-201. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-6-188-201. – EDN QRCFCH.

3. Кондратьев А. Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFPHGG.

4. Сергеева Д. В. Инфракрасная система отопления / Д. В. Сергеева, А. Е. Кондратьев // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II Международная научная конференция, Сумгаит, 12–13 ноября 2020 года. – Сумгаит: Сумгаитский государственный университет, 2020. – С. 284-287. – EDN GABWOQ.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕКУПЕРАЦИИ МЕТОДОМ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

А.А. Аверьянова<sup>1</sup>, Н.Ж. Нуруллин  
Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>annaannaaver@gmail.com

В данной статье описан способ повышения энергоэффективности процесса рекуперации – использование специальных поверхностей пластин для увеличения интенсификации теплообмена. В программном комплексе ANSYS проведено исследование пластин с различными вставками и поверхностями.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, рекуператор, теплопередача, аэродинамическое сопротивление, пластина, интенсификация теплообмена.

## INCREASING THE EFFICIENCY OF THE RECOVERY PROCESS BY THE METHOD OF HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION

A.A. Averyanova<sup>1</sup>, N.J. Nurullin  
KSPEU, Kazan, Russia  
<sup>1</sup>annaannaaver@gmail.com

This article describes a way to increase the energy efficiency of the recovery process – the use of special plate surfaces to increase the intensification of heat exchange. In the ANSYS software package, a study of plates with various inserts and surfaces was carried out.

**Keywords:** energy efficiency, heat exchanger, heat transfer, aerodynamic drag, plate, heat transfer intensification.

Повышение энергоэффективности системы вентиляции возможно путем применения рекуператора воздуха – устройства для передачи тепловой энергии от вытяжного воздуха к приточному.

Выделяют следующие виды рекуператоров: роторный, пластинчатый, с промежуточным теплоносителем, фреоновый [1].

Роторный представляет собой вращающийся корпус, в котором находятся пакеты пластин. Проходя через вытяжной воздух, они аккумулируют тепло, а затем отдают его приточному воздуху. Такой

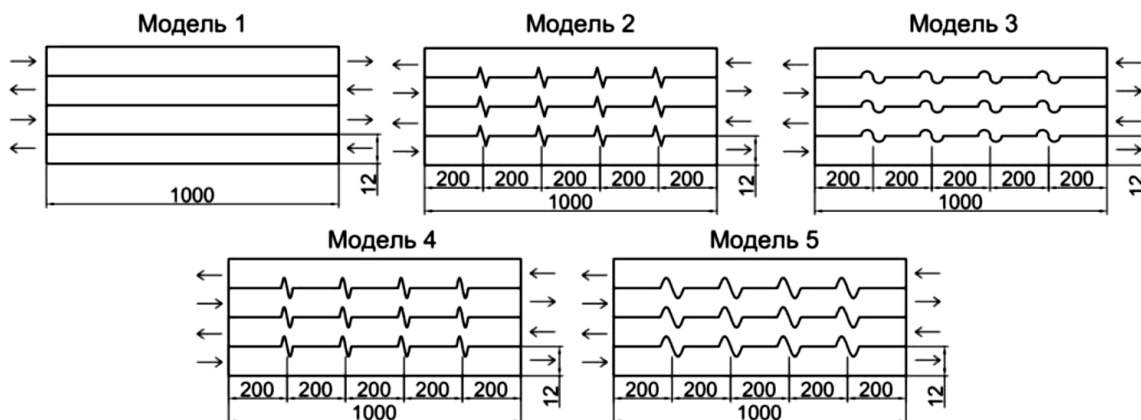
рекуператор имеет высокий КПД, но недостатком является вероятность переноса неприятных запахов и болезнетворных бактерий из-за перетока части удаляемого воздуха к приточному в корпусе аппарата.

Рекуператор с промежуточным теплоносителем состоит из двух теплообменников. Теплоноситель, циркулирующий внутри трубок в системе теплообменников, принимает тепло от вытяжного воздуха и отдает его приточному воздуху. Преимуществом является исключение смешивания потоков и возможность установки теплообменных аппаратов на расстоянии друг от друга. Недостатком является сложность системы и низкий КПД – 45-55%.

Фреоновый рекуператор – это герметично закрытые медные оребренные трубы, заполненные внутри легкокипящим хладагентом. Перенос тепла осуществляется за счет его последовательного испарения и конденсации. Здесь исключается взаимное смешивание потоков, их загрязнение и передача запахов, КПД составляет 50-70%.

Наибольшее применение и опыт в эксплуатации имеют пластинчатые рекуператоры. Они представляют собой пластинчатый теплообменник, по каналам которого движутся потоки приточного и вытяжного воздуха, каналы чередуются. КПД достигает до 79%.

С целью повышения эффективности процесса рекуперации используют метод интенсификации теплообмена, заключающийся в применении различных поверхностей пластин, имеющих определенную структуру и геометрию [2, 3]. Увеличение теплопередачи объясняется нарушением упорядоченности движения потока, увеличением его турбулентности и перемешиванием слоев относительно друг друга.



Расчетные схемы пластинчатого противоточного рекуператора

Для наглядности в среде моделирования ANSYS были построены и

рассчитаны на предмет тепловой эффективности и гидравлического сопротивления модели пяти пластин (см. рисунок): гладкие, с турбулизирующими вставками треугольной формы, в виде полуокружностей, в виде волны 4 на 4 мм, в виде волны 4 на 8 мм.

Для каждого из вида пластин были построены профили температур и турбулентности при скоростях движения 0,1 м/с, 0,5 м/с, 1 м/с, 2 м/с, 3 м/с.

На основе полученных табличных и графических данных можно сделать вывод, что:

1. Наименьшую теплопередачу имеют гладкие пластины, также в них наблюдается уменьшение эффективности аппарата с увеличением скорости потока, объясняется это тем, что поток быстрее проходит через каналы и не успевает отдать тепло на периферию.

2. Использование вставок на поверхности пластин, приводит к перемешиванию слоев потока воздуха, а значит к увеличению теплообмена, соответственно, такие модели имеют больший коэффициент теплопередачи относительно гладких пластин.

3. Рассмотренные модели вставок в меньшей степени отличаются между собой по температурной эффективности и в большей по аэродинамическому сопротивлению. Поэтому, при выборе формы вставок необходимо большее внимание уделять вопросу их влияния на аэродинамические характеристики рекуператора.

4. Из моделей, представленных на рисунке, наибольшую эффективность по значениям аэродинамического сопротивления и теплового КПД имеют пластины с турбулизирующими вставками в виде волны 4 на 8 мм.

Работа выполнена по гос. заданию №075-03-2023-291.

### **Источники**

1. Посохин В.Н., Сафиуллин Р.Г., Бройда В.А. Вентиляция / Под общ. ред. проф. Посохина В.Н. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 624 с.

2. Лаптев А.Г., Башаров М.М., Фарахов Т.М. Определение коэффициентов теплоотдачи в каналах с интенсификаторами процесса / Известия высших учебных заведений. Проблемы Энергетики // Том 19, № 11-12, 2017. –112-118 с.

3. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Копп И.З., Мякочин А.С. Эффективные поверхности теплообмена. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 408 с.: ил.

## **ВЕРОЯТНОСТЬ «ПИННИНГА» КАПЛИ ВОДЫ ПОСЛЕ ЕЕ ПАДЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ**

В.С. Акимов, К.А. Войткова

Науч. рук. д-р техн. наук С.В. Сыродой

ФГАОУ ВО НИ «ТПУ», г. Томск

В работе приведены результаты экспериментальных исследований процесса растекания капель охлаждающей жидкости (воды) при их стекании с полированной и текстурированных поверхностей подложек из нержавеющей стали, расположенных под различными углами к горизонтальной плоскости. Для создания на подложках текстуры их поверхности обрабатывались шлифовальной машиной. Определены условия (угол наклона подложки и высота сброса капли) при которых капля воды прилипает к поверхности подложки в месте ее падения (зарегистрирован пиннинг капли).

**Ключевые слова:** капля, теория вероятности, растекание, система охлаждения.

## **THE PROBABILITY OF DROPLET PINNING ON STAINLESS STEEL SURFACE AFTER ITS FREE FALL**

V.S. Akimov, K.A. Voytkova

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The work provides the results of experimental studies of the process of spreading the drops of coolant (water) when they are rolling-off on polished and textured surfaces of stainless steel substrates located at different angles to the horizontal plane. To create on the substrates, the texture of their surface was processed with a grinding machine. The conditions (the tilt angle of the substrate and the height of the drop discharge) are determined at which a drop of water sticks to the surface of the substrate at the place of its fall.

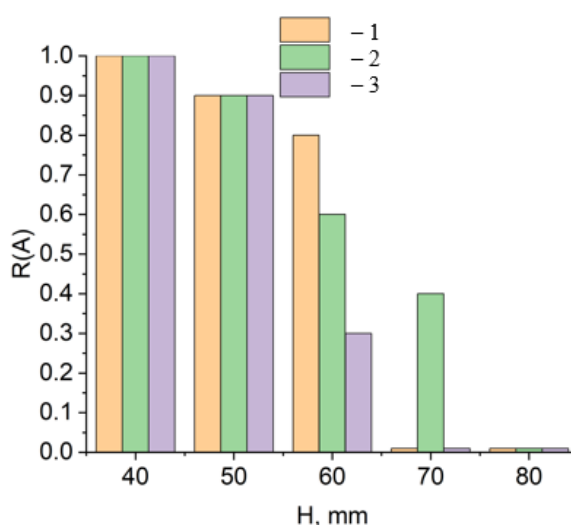
**Key words:** drop, probability theory, spreading, cooling system.

Технология сбора капель жидкостей на поверхностях металлов используется во многих промышленных установках [1–3]: скруббер, градирня, ректификационная колонна, спреевая система охлаждения и др. Выбор наиболее эффективных технологических режимов без полного понимания физики процессов соударения и стекания капель с твердых поверхностей с различными характеристиками практически невозможен. Соответственно целью настоящей работы являлось установление условий

(угол наклона подложки и высота сброса капли) при которых капля воды прилипает к поверхности подложки в месте ее падения (зарегистрирован пиннинг капли).

Эксперименты проведены с использованием теневой методики. Для получения теневых изображений капли дистиллированной воды объемом  $7 \pm 1$  мл сбрасывались на поверхности подложек с помощью шприца. Расстояние между концом иглы шприца и поверхностью подложки варьировалось от 20 мм до 200 мм. Угол наклона поверхностей подложек относительно горизонтальной оси варьировался от  $0^\circ$  до  $70^\circ$ .

По результатам экспериментальных исследований стекания капли воды после ее соударения с наклонной поверхностью подложки были условно выделены два случая: 1) капля стекает с поверхности подложки; 2) после падения капля не стекает (зарегистрирован пиннинг контактной линии капли в месте соударения с подложкой). Получены зависимости вероятности этого события от высоты сброса капель на полированную и текстурированные поверхности подложки (см. рисунок).



Типичная диаграмма вероятности пиннинга контактной линии от высоты сброса капли на поверхности подложки: 1 – текстурированная перпендикулярно направлению стекания капли; 2 – полированная; 3 – текстурированная параллельно направлению стекания капли.

Установлено, что угол атаки (другими словами угол наклона подложки) не оказывает влияние на механизм растекания капли жидкости по поверхности подложки. В тоже время надо отметить, что анализ серий кадров показывает, что увеличение угла наклона подложки приводит к уменьшению толщины пленки жидкости, формирующейся в период

времени между моментами удара капли о поверхность подложки и формированием головного водяного снаряда.

Установлено (см. рисунок), что после нанесения на полированную поверхность нержавеющей стали царапин, направленных параллельно вектору движения капли, вероятность пиннинга в месте ее соударения с подложкой не изменяется. Наличие царапин, расположенных перпендикулярно движению капли, существенно влияет на вероятность пиннинга контактной линии капли в месте соударения с подложкой.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00641, <https://rscf.ru/project/23-29-00641/>

### **Источники**

1. Hu P., Meng Q., Fan T., Cao L., Li Q., Dynamic response of turbine blade considering a droplet-wall interaction in wet steam region // Energy. 2023. Т. 265. с. 126323.

2. Hu F., Lu Y., Wu F., Ming Y., Xia G., Zhang H., Breakup and collision of water droplet for mass injection pre-compression cooling // Aerosp. Sci. Technol. 2021. Т. 116. с. 106866.

3. Chen B., Zhang Y., Dai Z., Wang C., Zhang X., Experimental research on the dynamics of a train of droplets impacting, from droplets to liquid film, continuity and inheritance // Energy. 2022. Т. 256. с. 124670.

УДК 620.92

## **ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ ТЭК**

Л.Д Анпилогов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lev.anpilogov.03@mail.ru

ТЭК является основой экономики страны, которая объединяет территорию страны в единую экономическую зону, которая обеспечивает жизнедеятельность страны.

**Ключевые слова:** ТЭК, нефтедобыча, угольная промышленность, электроэнергетика, теплоснабжение.

# INDUSTRY FORECASTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE FUEL AND ENERGY SECTOR

L.D. Anpilogov  
KSPEU, Kazan, Russia  
lev.anpilogov.03@mail.ru

The fuel and energy sector is the basis of the country's economy, which unites the country's territory into a single economic zone, which ensures the vital activity of the country.

**Keywords:** fuel and energy complex, oil production, coal industry, electric power industry, heat supply.

Со временем человечество начинает использовать разные способы получения энергии, но основой остается топливная энергетика. Развитие основных элементов топливно-энергетического комплекса сейчас достаточно актуально из-за того, что представленная отрасль полностью связана с отраслями экономики, направленных на укрепление хозяйственной деятельности страны. Для этого комплекса характерно присутствие развитой производственной инфраструктуры [1].

Рассмотрим только две отраслевые перспективы развития, теплоснабжение и новые источники энергии [2].

Недостаточно хорошая ситуация, связанная с теплообеспечением страны, уже признана на государственном уровне, но в настоящее время законодательно не планируется искать новые способы получения тепла, так как отдаётся предпочтение ТЭЦ из-за того, что это даёт наибольшее количество тепла и при этом наименьший расход. Так же необходимо учитывать достаточную дешевизну добычи и доступность традиционного углеводородного топлива.

Если применять принцип комбинирования выработки тепловой и электрической энергии, то этот метод даёт больше преимуществ, чем при раздельном использовании, сохраняя при этом свои преимущества, что особенно поможет при выработке электроэнергии на угольных электростанциях. Необходимо рассмотреть различные способы значительного снижения тепловых потерь в коммуникациях, которые связаны с обновлением устаревших трубопроводов, выполненных из перспективных наноматериалов, применением наиболее эффективных способов укладки труб, своевременной заменой изношенных участков. Это является наиважнейшей задачей, которые должны быть рассмотрены и



апробированы в стационарных технологических центрах. Немаловажной задачей должна стать проблема и альтернативных источников энергии как хорошо известных, так и вновь разрабатываемых. Однако в настоящее время использование возобновляемых источников энергии достаточно проблематично и недоступно для большинства теплоснабжающих компаний из-за несовершенства законодательной базы, высокой себестоимости оборудования и эксплуатации, а также долгосрочных капиталовложений [3].

Доля таких источников в энергетическом балансе России в 2021 году не превышала 1,5%, но ожидается ее увеличение до 3-4% в будущем. Несмотря на это, применение новых технологий энергопроизводства, особенно использование органических отходов, солнечных фотоэлектрических преобразователей и тепловых насосов, представляют интерес для России в будущем [4].

Коренная перестройка топливно-энергетического комплекса в настоящее время стала необходимой, и всё больше слоев общества осознают эту необходимость. Для этого разрабатываются перспективные программы дальнейшего развития ТЭК России, стационарные технологические центры продолжают работать над исследованием и внедрением инновационных энергосберегающих технологий, происходит планомерный настрой народного хозяйства на использование недорогого ресурсосберегающего оборудования [5]. Но, как показывает практика идеи, которые появляются в таких технологических центрах, не систематизированы, разрознены и не поддерживаются сторонниками традиционной энергетики.

### **Источники**

1. Improving the methodology for assessing the technical condition of equipment during the transportation of energy carrier in energy systems and complexes / S. O. Gaponenko, R. Z. Shakurova, A. E. Kondratiev, R. Dimova // E3S Web of Conferences: 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/201912401021. – EDN UXIYTB.

2. Шарафисламова Э. А. Совместная работа теплового насоса с ветрогенератором малой мощности / Э. А. Шарафисламова, А. Е. Кондратьев // . – 2016. – № 2. – С. 256-258. – EDN YGGYGN.

3. Даутов Р. Р. Экологические аспекты применения тепловых насосов в индивидуальном отоплении / Р. Р. Даутов, А. Е. Кондратьев //

Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: Международная научно-техническая конференция. Электронный сборник научных статей по материалам конференции. В 3-х томах, Алматы, Казань, 20–21 октября 2022 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 192-195. – EDN TTETWR.

4. Кондратьев А. Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFPHGG.

5. Гилязова Г. Р. Особенности применения солнечных коллекторов для системы отопления / Г. Р. Гилязова, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 25-27. – EDN TVANLT.

УДК 534.014.1

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА**

А.Р. Галимова<sup>1</sup>, А.Е. Кондратьев, С.О. Гапоненко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

В тезисе проведен анализ влияния внешних факторов на параметры собственных колебаний трубопровода в условии его эксплуатации. Проведенный анализ динамических процессов в программном пакете ANSYS позволил получить динамическую характеристику трубопроводов с дефектами поперечного, поперечного и продольного разреза. В результате исследований, проведенных с использованием модального анализа, были рассчитаны собственные частоты трубопроводов с дефектами различных размеров.

**Ключевые слова:** виброакустический метод, собственные колебания, трубопровод, анализ, численное моделирование.

# ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS ON THE VALUES OF THE PARAMETERS OF NATURAL OSCILLATIONS OF THE PIPELINE

A.R. Galimova<sup>1</sup>, A.E. Kondratiev, S.O. Gaponenko

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

The thesis analyzes the influence of external factors on the parameters of natural oscillations of the pipeline in the condition of its operation. The analysis of dynamic processes in the ANSYS software package made it possible to obtain a dynamic characteristic of pipelines with transverse, transverse and longitudinal section defects. As a result of studies conducted using modal analysis, the natural frequencies of pipelines with defects of various sizes were calculated.

**Keywords:** vibroacoustic method, natural oscillations, pipeline, analysis, numerical modeling.

На данном этапе деятельность промышленных предприятий посвящена процессам модернизации и оптимизации обслуживающего оборудования с целью качественного управления технологическими процессами. Актуальной задачей служит сократить экономические затраты на проведение ремонтных работ и повысить эксплуатационный срок службы промышленных объектов посредством проведения автоматизированного технического диагностирования. Вследствие воздействия различных механических и температурных факторов, на конструкциях возникают различного рода внешние дефекты в виде трещин, изломов, пластических деформаций в виде смятия, коррозии и иных повреждений [1]. Для своевременного контроля объекта проводят технические диагностики, позволяющие с высокой точностью выявить дефекты и устранить их на раннем этапе возникновения.

Целью работы является проведение аналитической работы влияния внешних факторов на технические характеристики трубопровода с помощью численного модального анализа [2].

В данной работе в качестве обследуемого объекта за основу была принята модель трубопровода, выполненная в программном комплексе ANSYS. Объектом исследования является вибрация – носитель диагностической информации, измерительный канал, позволяющий определить техническое состояние оборудования.

Таблица 1

Расчет частоты в трубопроводе с дефектом поперечного сечения

№ опыта	Частота, Гц	№ опыта	Частота, Гц	№ опыта	Частота, Гц	№ опыта	Частота, Гц
1	181,1	13	3199	25	6492,5	37	7752
2	230,9	14	3660,6	26	6583,5	38	7945,3
3	637,94	15	3797,4	27	6627,9	39	8025,3
4	646,6	16	4202,6	28	6712,8	40	8381,8
5	1055	17	4349	29	6806,4	41	8434,6
6	1151	18	4593,8	30	6922,9	42	8629
7	1195,8	19	5125	31	7102,2	43	8761,5
8	1869,2	20	5305,5	32	7195,6	44	8948
9	1935	21	5647	33	7256,7	45	9101,2
10	2607,7	22	5751,7	34	7309	46	9496,1
11	2647,1	23	6129,6	35	7408,4	47	9707,4
12	2719	24	6369,8	36	7620	48	9830,8

Процесс фиксации, передачи и обработки сигналов осуществляется в разных системах. В качестве датчика чаще всего используется пьезоэлектрические элементы, направленные на преобразование колебаний среды в электрические импульсы. Далее приёмная и обрабатывающая аппаратура усиливает и обрабатывает сигнал и выдаёт на выходе информацию о виброускорении, виброскорости и виброперемещении. Виброакустической диагностике может подвергаться любое оборудование, функционирование которого сопровождается возбуждением колебательных процессов [3]. Для грамотного и максимально точного определения технического состояния оборудования посредством виброакустической диагностики необходимо выявить основные причины шума и вибрации, например износ, повреждение подшипников и т.д.

В целях проведения модального анализа было проведено 48 режимов колебаний расчетной трубы. Результаты экспериментальных исследований обобщены в таблице 1. Наиболее характерными частотами являются 6712,8; 7114,4; 7195,6; 8969,2; 9496,1 Гц для контроля дефектного трубопровода с поперечным сечением. Диагностика динамического оборудования осуществлялась из подручных средств с минимальными материальными затратами и отсутствием необходимости транспортировки контролируемого объекта. Используя модальный анализ, были рассчитаны

собственные частоты трубопровода с дефектами различных типов. Теоретические исследования выявили наиболее характерные частоты для с поперечным сечением: 9496,1 Гц; с поперечным и продольным сечением: 8230 Гц.

### **Источники**

1. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е., Мустафина Р.Г. Построение математической модели распространения волн Лэмба в стальном трубопроводе с защитным наружным покрытием // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 3-15. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-3-15.

2. Галимова, А. Р. Оценка технического состояния энергетических систем и комплексов на основе использования методов неразрушающего контроля // Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», 2022. – С. 154-156.

3. Загретдинов А.Р., Кондратьев А.Е., Зиганшин Ш.Г. Аппаратно-программное обеспечение ударно-акустического контроля композиционных конструкций // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 27. – EDN TPMSOV.

УДК 620.1

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПАРАМЕТРЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

А.Р. Галимова<sup>1</sup>, А.Е. Кондратьев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

В тезисе представлено математическое моделирование влияния различных типов дефектов в трубопроводах на частоты их колебаний. Анализ переходных динамических процессов в программном пакете ANSYS позволил получить динамическую характеристику трубопроводов с дефектами 7 мм; 8 мм; 10 мм. При выполнении работы использовались методы математического моделирования, численные, логико-вычислительные методы и вероятностно-статические методы математической обработки результатов измерений. В результате исследований, проведенных с использованием модального анализа, были рассчитаны собственные частоты трубопроводов без дефектов и с дефектами различных размеров.

**Ключевые слова:** виброакустический метод, неразрушающий контроль, трубопровод, анализ, численное моделирование, дефект.

# MATHEMATICAL MODELING OF THE EFFECT OF VARIOUS DEFECTS ON THE PARAMETERS OF NATURAL VIBRATIONS OF THE PIPELINE UNDER OPERATING CONDITIONS

A.R. Galimova<sup>1</sup>, A.E. Kondratiev

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

The thesis presents mathematical modeling of the influence of various types of defects in pipelines on their oscillation frequencies. The analysis of transient dynamic processes in the ANSYS software package allowed us to obtain a dynamic characteristic of pipelines with defects of 7 mm; 8 mm; 10 mm. Methods of mathematical modeling, numerical, logical-computational methods and probabilistic-static methods of mathematical processing of measurement results were used in the performance of the work. As a result of studies conducted using modal analysis, the natural frequencies of pipelines without defects and with defects of various sizes were calculated.

**Keywords:** vibroacoustic method, non-destructive testing, pipeline, analysis, numerical modeling, defect.

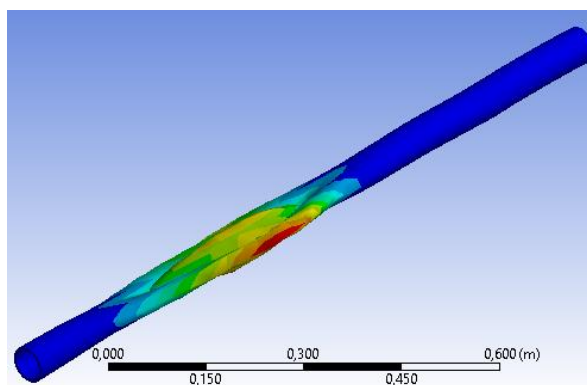
Задача повышения качества оценки технического состояния и диагностики трубопроводов является актуальной для обеспечения надежности энергоустановок и систем теплоснабжения. В сложных условиях эксплуатации наблюдается воздействия высоких давлений, температур и агрессивных сред на трубопровод. Данные факторы обуславливают появление дефектов на корпусе объекта. Возникающий дефект представляет собой неоднородность физико-механических свойств на корпусе объекта контроля, а именно трещины, вмятины, пористость, свищи и др. [1]. Вследствие этого возникает необходимость в проведении ряда диагностических мероприятий, позволяющих достоверно определять безопасные технологические режимы работы, выявлять участки трубопровода, пригодные для ремонта и т.д. [2].

На практике существуют различные виды методов неразрушающего контроля, позволяющие выявить различные виды дефектов конструкционных материалов с помощью различных приборов [3]. Существуют следующие виды методов контроля: магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, визуально-оптический, радиационный, акустический и метод проникающими веществами (капиллярный).

Наиболее широко применяемым методом в промышленной

теплоэнергетики является виброакустический метод неразрушающего контроля. Виброакустическая диагностика основана на регистрации, измерении и анализе виброакустических колебаний. Главными достоинствами данного метода можно выделить высокую эффективность и достоверность получаемых результатов, а также широкое применение данного метода в различных отраслях энергетики, машиностроения, железнодорожный транспорт и т.д. Способ инерциального возбуждения механических колебаний в упругой оболочке обладает повышенной точностью и информативностью возбуждения механических колебаний и регистрации их.

В исследовании определялись информативные диапазоны частот для контроля дефектного трубопровода с размером дефекта 7 мм. Наиболее характерными частотами являются 5778,2; 5801,3; 6662,5; 9828,1; 10262 Гц. Форма волны испытываемого трубопровода с размером дефекта 7 мм на частоте 5778,2 Гц показана на рисунке. Уникальность техники инерционного возбуждения механических колебаний в упругом корпусе заключается в вибрационном возбуждении. В корпусе осуществляется возбуждения с помощью инерционного резонатора, состоящего из электрического привода и эксцентрика. Во время его вращения наблюдается возникновение инерционных сил, достигающие через ось привода вибрационного воздействия на стенки упругой оболочки.



Форма волны в трубе с размером дефекта 7 мм на частоте 5778,2 Гц

Таким образом, виброакустический метод неразрушающего контроля позволяет эффективно проводить техническое диагностирование различных конструкторских изделий. Используя модальный анализ, были рассчитаны собственные частоты трубопровода с дефектами различных типов и размеров. Теоретические исследования выявили наиболее характерные частоты для дефекта в 7 мм: 5778,2; 5801,3; 6662,5; 9828,1; 10262 Гц; 8 мм: 5782,2; 6658,8; 6682,7; 7058,9; 7241,4 Гц; 10 мм: 5726,7; 6645,5; 7184; 7220,1;

9017,3 Гц соответственно.

### **Источники**

1. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е., Мустафина Р.Г. Построение математической модели распространения волн Лэмба в стальном трубопроводе с защитным наружным покрытием // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 3-15. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-3-15.

2. Галимова, А. Р. Оценка технического состояния энергетических систем и комплексов на основе использования методов неразрушающего контроля // Материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», 2022. – С. 154-156.

3. Загретдинов А.Р., Кондратьев А.Е., Зиганшин Ш.Г. Аппаратно-программное обеспечение ударно-акустического контроля композиционных конструкций // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 4-1(31). – С. 27. – EDN TPMSOV.

УДК 621. 643

## **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭНТРОПИЙНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ**

С.О. Гапоненко  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
sogaponenko@yandex.ru

В тезисе предложен инновационный вариант решения по определению дефектов технического состояния трубопроводов. В качестве решения автором предложен программно-аппаратного комплекс для проведения достоверной диагностики технического состояния трубопроводов на основе метода энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов. По полученным результатам испытаний разработанного комплекса был выявлен характер распространения сигналов вдоль стеклопластиковой трубы на графическом изображении программы.

**Ключевые слова:** разработка, виброакустический метод, трубопроводы, программно-аппаратный комплекс, дефект.



# HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX BASED ON THE METHOD OF ENTROPIC PARAMETERIZATION FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF PIPELINES

S.O. Gaponenko  
KSPEU, Kazan, Russia  
sogaponenko@yandex.ru

In the article an innovative variant of the solution for determining defects in the technical condition of pipelines is proposed. As a solution, the author proposed a hardware-software complex for conducting reliable diagnostics of the technical condition of pipelines based on the method of entropic parameterization of vibrodiagnostic signals. According to the test results of the developed complex the character of signal propagation along the fiberglass pipe in the graphic image of the program has been revealed.

**Keywords:** development, vibroacoustic method, pipelines, hardware-software complex, defect.

В настоящее время вопрос об ухудшении коммунальной инфраструктуры и ее технологической отсталости стоит очень остро в сфере теплоснабжения. По данным Министерства строительства, архитектуры жилищного строительства и коммунальных услуг, по состоянию на 2022 год более 20% теплоэнергетического комплекса Республики Татарстан требуют немедленной модернизации.

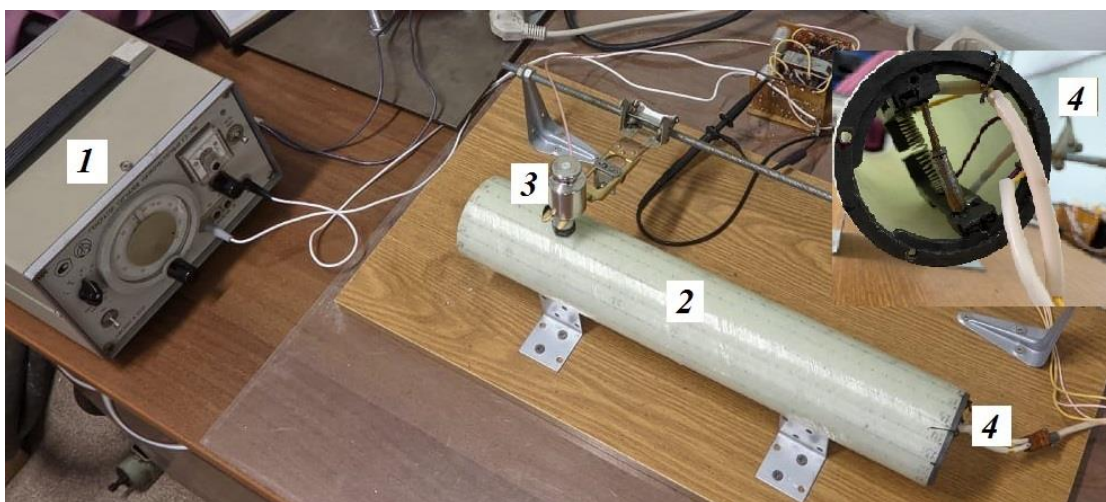
Задача по улучшению качества проведения диагностики трубопроводов является актуальной в системе теплоснабжения. На основе данных, информация о наличии дефектов, позволяет эффективно и своевременно производить замену поврежденных участков трубопровода с целью безопасной технологической их эксплуатации [1].

Предлагаемый аппаратно-программный комплекс обеспечивает параметризацию энтропии сигналов диагностики вибрации для локального мониторинга состояния объекта контроля. Основой его являются следующие устройства: резонатор сигнала, аналогово-цифровой преобразователь, датчик чувствительности. Для данного метода применимы трубопроводы из различных материалов и разного размера. Пьезоэлектрические датчики устанавливаются на наружную поверхность исследуемого объекта и регистрируют все сигналы вибрации [2].

Основополагающими параметрами предлагаемой методики служат следующие физические величины: смещение волн, скорость, ускорение, частота и амплитуда. Состояние исследуемого объекта составлялось на

основе полученных характеристик виброакустического сигнала, несущего необходимую информацию. Для связи между техническим состоянием изучаемого объекта и полученной информацией виброакустического сигнала была составлена аналитическая модель диагностических процессов и построены графические изображения распространения волн на месте изучаемого объекта [3-4].

Проводился эксперимент (см. рисунок) основанный на примере метода неразрушающего контроля заглубленного трубопровода, имеющего патент № 2482515 на изобретение. В ходе наблюдения некоторые изменения: генерация виброакустических волн происходила за счет генератора, расположенного внутри объекта при использовании 1 чувствительного элемента (пьезодатчик).



Экспериментальная установка с трубой из стеклопластика:

1 – регулятор частоты возбуждения; 2 – исследуемый трубопровод; 3 – пьезоэлектрический датчик; 4 – резонатор сигналов

Осуществление регистрации результатов проводилось двухканальным осциллографом, которые выводились на персональном компьютере с использованием программы Multi VirAnalyzer.

На основе анализа экспериментальных данных выявлены Лямб-волны, позволяющие определять сложные дефектные поверхности трубопровода и измерять толщину их поражения. Однако для выявления дефектов в объектах необходимо упомянуть аналогичные исследования ученых, посвятивших свою работу изучению распространения волн.

Результаты проведенной работы позволяют построить математическую модель расчета зависимости параметров амплитуды сигнала от наличия дефектов и размеров дефектной зоны. Анализ экспериментальной части

наглядно показывает характер распространения виброакустических сигналов по бесшовному стеклопластиковому трубопроводу. Яркое отклонение значения амплитуды сигнала из-за наличия дефекта в трубопроводе выражается изменением графического изображения распространения волны.

### **Источники**

1. Гапоненко С.О. Использование энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов для контроля технического состояния трубопроводов // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 657-659.

2. Гапоненко С.О. Программно-аппаратный комплекс для контроля технического состояния трубопроводов на основе методов энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация": Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 117-119.

3. Гапоненко С.О. Программно-аппаратный комплекс на основе теоретического моделирования и экспериментального исследования зависимости энтропийных виброакустических параметров линейно-протяженных энергетических объектов от их технического состояния // Тинчуринские чтения, Издательство: Казанский государственный энергетический университет (Казань). 2019. С. 3-6.

4. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О. Применение методов энтропийной параметризации для обработки виброакустических сигналов при диагностике трубопроводных систем // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Тексты докладов участников Международной молодёжной научной конференции, посвященной 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань, 10–11 ноября 2021 года. Том VI. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2021. – С. 333-338.

## ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В РОССИИ

В.Р. Гараева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Э.А. Ахметов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vera.garaeva.1999@mail.ru

В статье рассматриваются перспективы применения солнечных коллекторов по всей России.

**Ключевые слова:** Возобновляемый источник энергии, энергетическая эффективность, солнечные коллекторы, солнечная энергия.

## APPLICATION OF SOLAR COLLECTORS IN RUSSIA

V.R. Garaeva

KSPEU, Kazan, Russia

vera.garaeva.1999@mail.ru

The article discusses the prospects for the use of solar collectors throughout Russia.

**Key words:** Renewable energy source, energy efficiency, solar collectors, solar energy.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) являются объектом постоянно растущего интереса к их использованию в последние годы. Основная причина роста этого интереса кроется в предупреждении об истощении традиционных источников энергии на планете: топлива, природный газ, уголь и заканчивающиеся запасы урана [1].

В отличие от традиционных источников, ВИЭ можно считать неисчерпаемыми источниками энергии в масштабах человечества, поскольку они используют естественные потоки энергии от солнца. Еще одной причиной для развития возобновляемых источников энергии является неравномерное распределение традиционных источников энергии на планете, наряду с их потреблением, и, возможно, самой важной причиной является борьба с выбросами, которые вызывают многие негативные явления, такие как: парниковый эффект, разрушение озонового слоя, глобальное потепление и т.д. [2].

Эти вредные газы выбрасываются в результате различных видов

человеческой деятельности, включая производство энергии из традиционных источников энергии. Сокращение производства энергии из традиционных источников за счет увеличения доли ВИЭ приведет к сокращению их выбросов и последствий [3].

Солнечная энергия, получаемая Землей в течение часа, превышает общий годовой спрос на энергию во всем мире. Очевидно, что мы могли бы извлекать выгоду из солнечной энергии в гораздо большей степени, чем то, как это делается сегодня [4].

Самой большой проблемой была стоимость солнечных тепловых систем, чтобы сделать эти их конкурентоспособными на рынке. Однако, эта тенденция начинает меняться с ростом цен на энергоносители, но недостаточно быстро. Для того чтобы расширить и увеличить использование солнечной тепловой энергии, существует несколько решений.

В России в настоящее время внедряют все больше законов, связанных с использованием возобновляемых источников энергии, в том числе и по солнечной энергетике. Государственные субсидии - еще один способ, в котором очень важна преемственность. Хотя солнечные тепловые коллекторы на сегодняшний день уже высокоразвиты, важно также продолжать разработку коллекторов и конструкций систем для повышения их эффективности, качества, срока службы, рентабельности и т.д [5].

Несмотря на глобальное развитие, возобновляемые источники энергии не являются универсальным решением проблем энергоснабжения. Это связано с некоторыми недостатками. Во-первых, изменения вызваны циклом день-ночь, облаками на небе или другими препятствиями между солнцем и солнечными коллекторами.

Другой же серьезной проблемой, с которой сталкивается увеличение установленной мощности ВИЭ, являются первоначальные инвестиции. Они высоки из-за высокой цены используемых материалов [6].

Таким образом, использование солнечных коллекторов позволяет значительно сократить количество вредных выбросов в окружающую среду, что значительно приводит к улучшению состояния нашей страны во всех смыслах экосистемы. И хотя мы столкнемся с большими первоначальными финансовыми трудностями, можно быть уверенным, что все больше и больше будут использоваться возобновляемые источники энергии по причинам истощения ископаемых видов топлива и проблем изменения климата [7].

### Источники

1. Дибиров М.Г. Методические основы оценки эффективности солнечных тепловых установок / Дибиров М.Г., Амадзиева Н.А., Дибирова М.М. // Теплоэнергетика. – 2018. – №6. – С. 12-19.
2. Перспективы применения солнечных коллекторов/ Богомякова А.Р., Лебер А.И. // Перспективы науки. – 2020. – № 4. – С. 10-13.
3. Плоские солнечные коллекторы / Ражабов И.Т., Тулкинов М.А.// Университетская наука. – 2020. – № 12(79). – С. 47-50.
4. Оценка эффективности применения солнечных коллекторов разных модернизаций/ Калинина М.В.// Научному прогрессу – творчество молодых. – 2018. – № 2. – С. 93-95.
5. Оценка эффективности солнечных коллекторов в различных климатических условиях / Фатуллоев Ф., Кулулов М.А. // Вестник технологического университета Таджикистана, 2021. – №2 (45). – С. 112-117.
6. Ахмед. З.А. Перспективы использования солнечной энергии в Ираке / З.А. Ахмед, Д.А. Павлюченко, И.В. Кобобель // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2020. Т 12. № 1(45). С. 63-70.
7. Солнечный коллектор в системах энергосбережения / Поляков В.А., Бегдай С.Н. // Вестник Белгородского Государственного Технологического Университета им. В.Г. Шухова. 2018. №5. С. 151-154.

УДК 621.643.8:620.179.17

## ОБНАРУЖЕНИЕ ТЕЧИ ПОСРЕДСТВОМ СРАВНЕНИЯ СПЕКТРОВ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ТРУБОПРОВОДА

З.И. Гаязова<sup>1</sup>, И.И. Клюкин<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Ш.Г. Зиганшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zemfira.gayazova2000@yandex.ru, <sup>2</sup>Ilya.klyukinbkru.96@mail.ru

В статье был рассмотрен метод течеискания, посредством сравнительного анализа спектров акустического сигналов трубопровода, полученных вибродатчиком.

**Ключевые слова:** метод течеискания, акустический сигнал, спектр, вибродатчик, анализ спектров.

# LEAK DETECTION BY COMPARING THE ACOUSTIC SIGNAL SPECTRA OF THE PIPELINE

Z.I. Gayazova<sup>1</sup>, I.I. Klyukin<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>zemfira.gayazova2000@yandex.ru, <sup>2</sup>Ilya.klyukinbkru.96@mail.ru

In the article, the leak detection method was considered by means of a comparative analysis of the acoustic signal spectra of the pipeline received by the vibration sensor.

**Keywords:** leak detection method, acoustic signal, spectrum, vibration sensor, spectrum analysis.

Как показывает многолетний опыт эксплуатации трубопроводных систем, невозможно полностью исключить возникновение течи. Своевременное обнаружение утечки технологического продукта позволяет избежать как огромных потерь, так и предотвратить возможное разрушение в трубопроводной системе, повысить уровень её герметичности и безопасности. Основной проблемой является обнаружение течи на раннем этапе ее развития. Несвоевременное обнаружение течи ведет, как правило к необратимым последствиям [1].

Существует большое разнообразие методов течеискания, к которым относятся: галогенный, пузырьковый, химический, манометрический, люминесцентно-гидравлический, акустический и т.д [2,3]. В данной работе рассматривается метод основанный на анализе сигналов спектров акустических сигналов, полученных вибродатчиком.

В процессе работы был разработан экспериментальный стенд [4], показанный на рисунке 1, который представляет собой трубопровод, в котором непрерывно циркулирует вода, в качестве модели течи использовались диски различного диаметра.

Анализируя спектры акустических сигналов, представленных на рисунке 2, можно сделать следующие выводы:

1) Наличие течей в системе достаточно просто определяется по спектрам акустических сигналов, где черным обозначены спектры бездефектной трубы, а красным непосредственно - дефекты (течи).

2) При увеличении диаметра дефекта, низкочастотные волны преобладают над высокочастотными, из чего следует вывод, об определенной закономерности заключающейся в преобладании тех или иных частот в зависимости от величины дефекта.

3) Определение наличие течей данным методом является достаточно простым, удобным и не требующим определенных навыков.

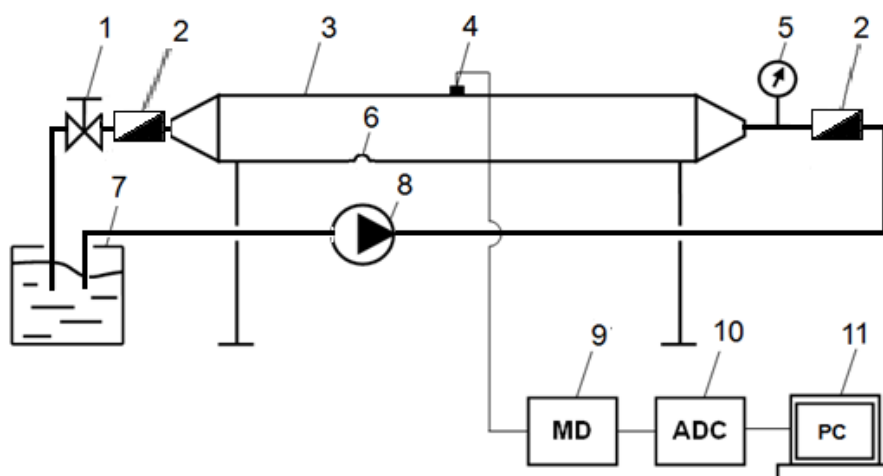


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – вентиль; 2 – счетчик воды; 3 – трубопровод (длина 2 м, внешний диаметр 0,159 м, толщина стенки 6 мм); 4 – датчик вибрационного ускорения AP2038P; 5 – манометр; 6 – дефект; 7 – емкость; 8 – насос ХКJ-900I; 9 – согласующее устройство AG01-3; 10 – аналого-цифровой преобразователь NI USB-6229; 11 – компьютер

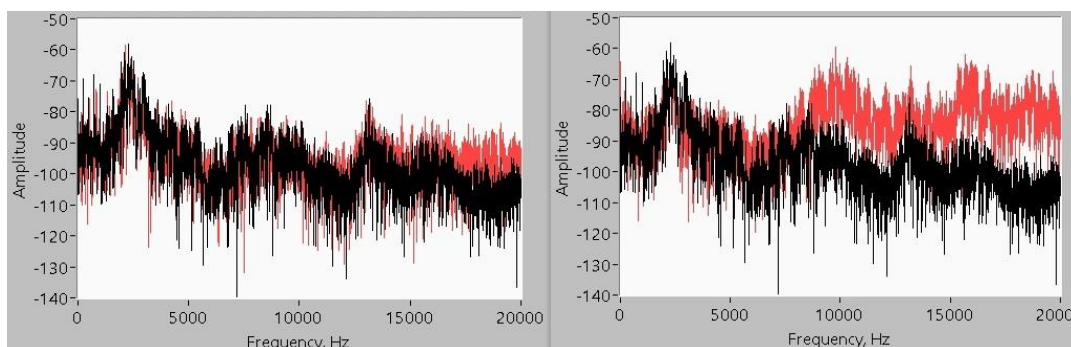


Рис. 2. Спектры акустических сигналов трубопровода при давлении 2 бара (черным цветом обозначен спектр бездефектного трубопровода, красным – спектр трубопровода с утечкой): для диаметров дефекта 1 мм и 2 мм.

### Источники

1. Корреляционный анализ факторов влияющих на отказы трубопроводов тепловых сетей / Т. О. Политова, Ш. Г. Зиганшин, Р. Р. Саляхова, А. О. Малахов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3(37). – С. 115.

2. Загретдинов А.Р., Кондратьев А.Е., Ваньков Ю.В. Разработка



прибора и методики ударно-акустического контроля многослойных композиционных конструкций // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 9-10. С. 97-104.

3. Лапшин, Б. М. Взаимно спектральный метод обнаружения утечки на трубопроводах с односторонним доступом / Б. М. Лапшин, А. Л. Овчинников // Дефектоскопия. – 2004. – № 9. – С. 19-26.

4. Ayrat Zagretidinov, Shamil Ziganshin, Yuri Vankov, Eugenia Izmailova, Alexander Kondratiev. Determination of Pipeline Leaks Based on the Analysis the Hurst Exponent of Acoustic Signals // Water. – 2022. – № 14. – 3190.

УДК 532.5

## РАСХОД ЖИДКОСТИ В АРМАТУРЕ С УТЕЧКОЙ

А.Р. Гиззатуллин

Науч. рук. д-р. техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

azat.r.gizatullin@yandex.ru

Проведены экспериментальные измерения расходов через течь в трубопроводе при давлениях 1,5...3,5 бар. Экспериментально и аналитически установлена зависимость расхода от давления, определены значения коэффициента расхода, проведено сравнение расчетных данных с экспериментом.

**Ключевые слова:** течи в арматуре, формула Торичелли, коэффициент расхода, моделирование.

## FLUID FLOW IN LEAKING PIPES

A.R. Gizatullin

KSPEU, Kazan, Russia

azat.r.gizatullin@yandex.ru

Experimental measurements of flow rates through a leak in a pipeline at pressures of 1.5...3.5 bar were carried out. The dependence of the flow rate on pressure was established experimentally and analytically, the values of the flow coefficient were determined, and the calculated data were compared with the experiment.

**Keywords:** pipeline leaks, Toricelli's law, flow coefficient, modeling.

Целью данной работы было определить зависимость расхода через течи различной геометрии от давления в трубопроводе, определить характер и параметры течения в трубопроводе. Ожидается, что полученные результаты станут основой для будущих исследований, направленных на создание акустической методики обнаружения мелких и крупных утечек в арматуре.

Для определения расходов через трубопровод была использована формула Торичелли [1], а также экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке ниже. Экспериментальный стенд представляет собой замкнутый контур с циркулирующей водой. Закрытием вентиля 1 регулировалось давление нагнетания насоса в диапазоне 1,5–3,5 бар с шагом 0,5 бар. Давление контролировалось с помощью манометра 5. Труба имеет длину 2м, внутренний диаметр 147 мм, толщину стенки 4,5мм. Течь находится на расстоянии 770 мм от выхода из трубопровода.

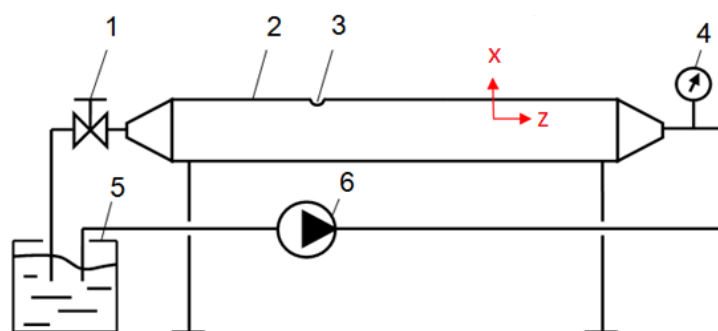


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – вентиль; 2 – трубопровод; 4 – дефект; 5 – манометр; 6 – емкость; 7 – насос

В качестве моделей дефектов трубопровода использовались диски с круглыми отверстиями разного диаметра. Диски устанавливались заподлицо на стенку трубы к просверленному в ней отверстию и прижимались затягиванием навинченный на приваренный к трубе штуцер гайкой. Расход через течь измерялся бытовым счётчиком расхода воды с точностью до 0,5 л/мин [2].

Скорость истечения жидкости из малого отверстия может быть оценена по формуле Торичелли:

$$v_0 = \sqrt{2gh}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h$  – геометрический напор.

При известном давлении  $p$  жидкости у отверстия геометрический напор можно заменить пьезометрическим:

$$p = \frac{h}{\rho g}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости.

Зная зависимость расхода от скорости, перепишем формулу (1):

$$Q_0 = \varphi \cdot \omega \cdot \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \frac{p}{\rho}}. \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр течи;  $\omega$  – коэффициент сжатия струи.

Приняв коэффициент расхода  $\mu = \varphi \cdot \omega = 1$  (идеальные условия), получим:

$$Q_0 = 1,111 \cdot d^2 \sqrt{\frac{p}{\rho}}. \quad (4)$$

Рисунки 2 и 3 демонстрирует значения расхода через круглую течь в зависимости от её диаметра и давления в арматуре.

С увеличением диаметра дефекта растёт проводимость трубы, насосу сложнее поддерживать необходимое давление. В связи с этим, не удалось для всех течей получить значения расходов в рассматриваем диапазоне давлений 1,5...3,5 бар (см. рисунок 2).

Результаты расчёта коэффициента расхода  $\mu$  показывают значения, превышающие 1 для малых отверстий, что не может соответствовать действительности [3]. Делаем вывод, что значения получены некорректно, в дальнейшем необходимо повторить эксперимент, используя более точный расходомер. В то же время для течей 3...6 мм значения  $\mu$  принимают значения порядка 0,8 и вопросов не вызывают.

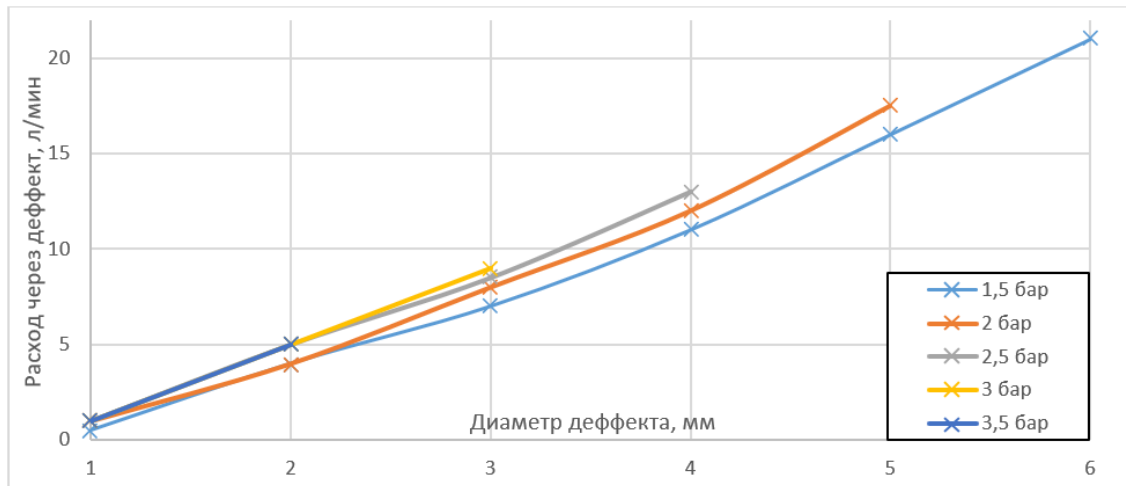


Рис. 2. Экспериментальная зависимость расхода через круглую течь от её диаметра при различных давлениях

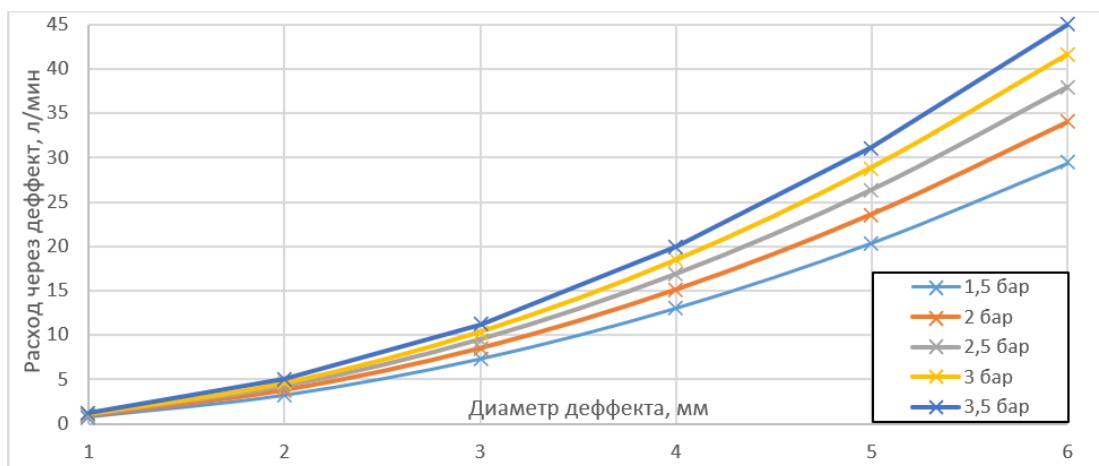


Рис. 3 Расчётная зависимость расхода через круглую течь от её диаметра при различных давлениях ( $\mu = \varphi \cdot \omega = 1$ )

### Источники

1. Бугаев Д.А., Калмыкова З.А., Подвида Л.Г. и др. Сборник задач по машиностроительной гидравлике: учеб. пособие для машиностроительных вузов под ред. И.И. Куколевского, Л.Г. Подвилза. 5-е изд., стереотипное. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 448 с.

2. Zagretdinov A.R., Ziganshin S.G., Vankov Y.V. Determination of Pipeline Leaks Based on the Analysis the Hurst Exponent of Acoustic Signals // Water. 2022, 14, 3190

3. Давыдов А. П., Валиуллин М. А., Димиева А. И. Технические способы изменения коэффициента расхода всасывающих отверстий различной конфигурации // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – №. 2 (40). – С. 168-174.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В АРМАТУРЕ С УТЕЧКОЙ

А.Р. Гиззатуллин

Науч. рук. д-р. техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

azat.r.gizatullin@yandex.ru

Проведено численное моделирование течения в трубопроводе при давлениях 1,5...3,5 бар и диаметрах течи 2...4 мм. Получены эпюры скоростей, траектории движения потока и частоты вращения.

**Ключевые слова:** течи в арматуре, турбулентный режим течения, CFD, частота вращений.

## NUMERICAL SIMULATION OF FLOW IN A LEAKING PIPE

A.R. Gizatullin

KSPEU, Kazan, Russia

azat.r.gizatullin@yandex.ru

Numerical modeling of the flow in the pipeline at pressures of 1.5...3.5 bar and leak diameters of 2...4 mm was carried out. Plots of velocities, flow trajectories and rotation frequency have been obtained.

**Keywords:** pipeline leaks, turbulent flow, CFD, rotation frequency.

Своевременное обнаружение утечек в различных арматурах – одна из приоритетных задач при обеспечении безопасной эксплуатации газопроводов, нефтепроводов и пр. Постоянный контроль и оценка уровня протечек является неотъемлемой частью обслуживания трубопроводов, которые помимо снижения аварийности призваны повысить энергоэффективность трубопроводов [1].

На данный момент наиболее распространенными методами контроля утечек являются методы, основанные на измерении расхода через трубопровод или давления, которые зачастую не позволяют обнаружить мелкие течи [2].

Целью данной работы было изучить поведение потока в трубопроводе после появления мелкой течи. Ожидается, что полученные

результаты могут стать основой для будущих работ, направленных на создание акустической методики обнаружения мелких и крупных утечек в арматуре.

Численное моделирование течений проведено при стационарных условиях в САЕ пакете COMSOL Multiphysics 6.1 в модуле Fluid Flow – Turbulent Flow, k-ε (модель турбулентности k-ε).

Значения расхода через трубу выбирается исходя из характеристики насоса, полученной экспериментально.

Значения расхода через малое отверстие (течь) выбирается по данным, полученным по формуле Торичелли. Моделирование было проведено при давлении 1,5...3,5 бар и диаметрах течи 2...4 мм. Ниже показаны результаты для давления 2 бар и диаметра течи 2 мм.

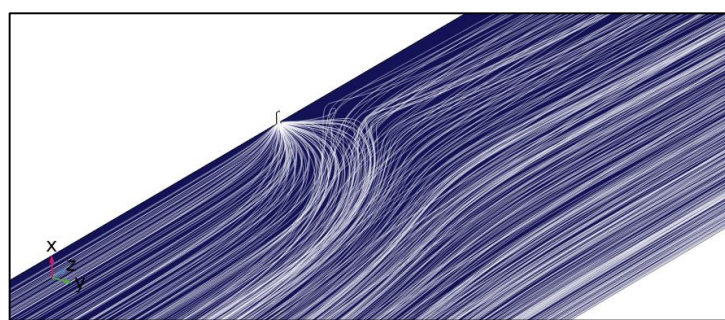


Рис. 1. Возмущения потока у отверстия

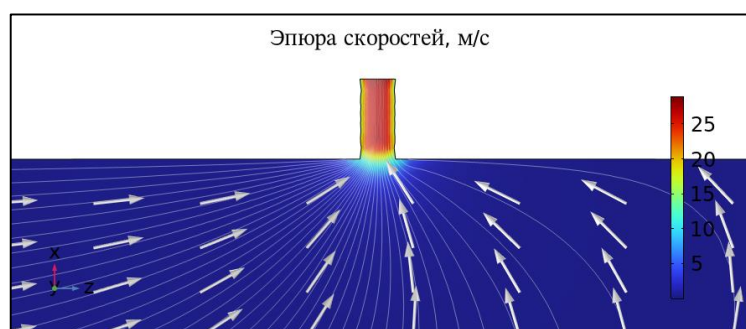


Рис. 2. Эпюра скоростей

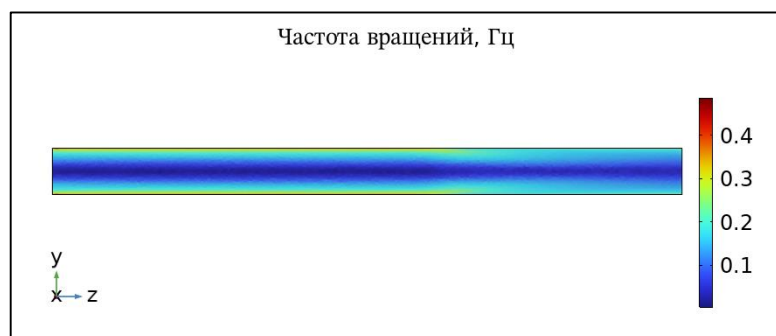


Рис. 3. Частота вращений, сечение YZ

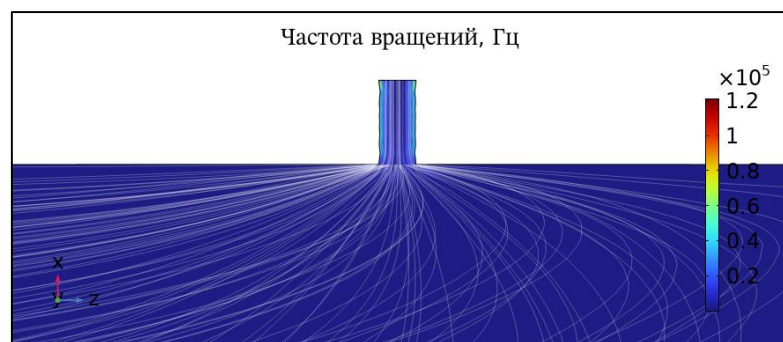


Рис. 4. Частота вращений, сечение XZ

Результаты расчётов и моделирования показывают, что при возникновении течи в трубопроводе, частоты вращения возрастают на несколько порядков. Высокие частоты образуются в пристеночных областях канала отверстия и могут составлять несколько кГц. Отметим, что несмотря на то, что скорость истечения остаётся для всех малых отверстий постоянной (согласно формуле Торричелли) или слабо меняется (согласно эксперименту), частоты, полученные при моделировании, значительно отличаются для разных отверстий: 12 кГц, 7 кГц, 4 кГц для  $D = 2$  мм, 3 мм, 4 мм соответственно. На основании полученных данных может быть разработана акустическая методика контроля утечек, используя которую на основании частотного анализа можно судить об отсутствии течей (если присутствуют только низкие частоты) или об их наличии и размере (если присутствует высокочастотный спектр) [3].

#### Источники

1. Щукин Н. П., Райнов Б. М., Быков И. Ю. Методы диагностики запорной арматуры магистральных газопроводов на герметичность // Территория нефтегаз. – 2009. – №. 4. – С. 14-21.
2. Богданов Е. А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2006. — 279 с.
3. Zagretdinov A.R., Ziganshin S.G., Vankov Y.V. Determination of Pipeline Leaks Based on the Analysis the Hurst Exponent of Acoustic Signals // Water. 2022, 14, 3190

## **ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ (ПЕЛЛЕТ) НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.А. Громов

ФГАОУ ВО «САФУ имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск

antongromov56@gmail.com

В докладе приведены данные об использовании и производстве древесных топливных гранул (пеллет) на территории Архангельской области. Также в работе произведена оценка возможности перевода части источников теплоснабжения Архангельской области на древесные топливные гранулы (пеллеты) в качестве основного вида топлива с технической и экономической точек зрения.

**Ключевые слова:** пеллеты, топливо, теплоснабжение, Архангельская область, экономическая эффективность.

## **THE PROSPECT OF USING WOOD FUEL PELLETS (PELLETS) ON THE TERRITORY OF THE ARKHANGELSK REGION**

A.A. Gromov

NARFU named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

antongromov56@gmail.com

The article presents data on the use and production of wood fuel pellets (pellets) on the territory of the Arkhangelsk region. The paper also assessed the possibility of transferring part of the heat supply sources of the Arkhangelsk region to wood fuel pellets (pellets) as the main type of fuel from a technical and economic point of view.

**Keywords:** pellets, fuel, heat supply, Arkhangelsk region, economic efficiency.

На территории Архангельской области ежегодно производится порядка 557 000 тонн топливных гранул (330 858 т.у.т.).



Основные производители древесных топливных гранул (пеллет) на территории  
Архангельской области

Производитель	Расположение завода	Мощность, тонн	Производство в 2021 году, тонн
ЗАО «Лесозавод 25»	г. Архангельск	210	196
ООО «Регион-Лес»	г. Архангельск	80	54
ООО «ГУ УЛК»	г. Вельск	240	244
	Устьянский район		
АО «Бионет»	г. Онега	150	63

Согласно поручению заместителя председателя Правительства РФ на внутреннем рынке необходимо обеспечить потребление 30 % производимого в регионе топлива [1], что составляет 99 257 т.у.т.

На территории Архангельской области эксплуатируется 573 котельных различных форм собственности, из них используют в качестве топлива:

дрова – 320, древесные отходы (кора, щепка, опилки) – 41, пеллеты – 8, природный газ – 59, каменный уголь – 125, мазут (темные нефтепродукты) – 12, дизельное топливо – 8 [2].

Перевод котельных, уже использующих дрова в качестве топлива, на использование пеллет является нерациональным по причине устоявшихся логистических цепочек, поддерживающих местных производителей дров на территории Архангельской области. Целесообразными к переводу на пеллеты являются котельные, использующие каменный уголь и нефтепродукты, в общем количестве 145 единиц. Из указанного количества 39 котельных находятся на территориях, относящихся к районам Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов, 49 котельных подлежат к переводу на использование природного газа, 31 котельная уже передана по концессионным соглашениям частным инвесторам с фиксированным перечнем мероприятий и закреплёнными обязательствами муниципальных образований.

Таким образом, итоговое количество котельных, возможных к переводу на использование пеллет, составляет 26 единиц с суммарным годовым потреблением 26 962 т.у.т., что составляет 8 % от общего объёма производства пеллет на территории Архангельской области.

При этом следует отметить, что перевод котельных на использование

пеллет является затратным мероприятием, а использование пеллет в дальнейшем приведёт к увеличению нагрузки на областной бюджет в связи с ростом размера субсидий теплоснабжающим организациям.

Так, стоимость пеллет составляет 14 920 руб./т.у.т., что в 2,4 раза выше стоимости каменного угля (6 198 руб./т.у.т.). Таким образом, использование пеллет вместо каменного угля на указанных выше котельных приведёт к увеличению нагрузки на областной бюджет на сумму примерно 220 млн. рублей ежегодно в связи с ростом объема субсидий теплоснабжающим организациям.

Стоимость инвестиций в модернизацию/строительство котельных для использования пеллет по указанным котельным составит 1,5 млрд. рублей и, с учётом инвестиционной составляющей в тарифе и периода окупаемости без учета заемных средств, приведёт к дополнительной ежегодной нагрузке на областной бюджет в предположительном размере около 150 млн. рублей. Соответственно, общая ежегодная финансовая нагрузка на бюджет Архангельской области при переводе котельных на пеллетах может составить около 370 млн. рублей.

Субсидии из областного бюджета выплачиваются для сдерживания роста тарифов только для населения и не затрагивают прочих потребителей, тарифы для которых могут вырасти в несколько раз [3].

С технической точки зрения, на котельных, использующих пеллеты, использование резервного вида топлива не представляется возможным, в связи с чем при проблемах с доставкой пеллет или их использованием возможно снижение параметров теплоснабжения или полный останов котельной. Кроме того, при стабилизации рынка продажи пеллет и возвращения (повышения) цен к предыдущим значениям, переход переведённых на пеллеты котельных на другой вид топлива также невозможен.

Сама транспортировка пеллет относится к высокотехнологичному процессу, который возможен при использовании специального автомобильного транспорта при эффективно возможном «плече» доставки. Принимая во внимание локализацию расположения объектов по производству топливных гранул и возможных к переводу на пеллеты котельных, доставка топлива будет логистически сложным процессом и приведёт к ещё большему удорожанию топлива.

Таким образом, в целом для Архангельской области, где традиционно широко применяются дешёвые отходы и продукты лесопиления в виде дров, щепы и опилка, использование энергоёмких дорогостоящих пеллет в коммунальной энергетике является

нерациональным.

### **Источники**

1. Меры поддержки ЛПК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://whatwood.ru/pravitelstvo-rf-prinimaet-meryi-po-podderzhke-rossiyskogo-pelletnogo-sektora/> (дата обращения: 25.02.23).

2. ГКУ АО «Проектная дирекция МинТЭК и ЖКХ АО» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pdmtek.ru/> (дата обращения: 25.02.23).

3. Агентство по тарифам и ценам Архангельской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://тариф29.рф> (дата обращения: 25.02.23).

УДК 621.577

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Р.Р. Даутов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[gluza.dautova@ya.ru](mailto:gluza.dautova@ya.ru)

В статье рассматриваются преимущества систем теплоснабжения на базе теплонасосных установок, приводятся классификация по видам используемой низкопотенциальной тепловой энергии.

**Ключевые слова:** тепловой насос, низкопотенциальные источники тепла, парокомпрессия, отопление, горячее водоснабжение.

## **CLASSIFICATION OF HEAT PUMPS USED IN THE HEAT SUPPLY OF RESIDENTIAL BUILDINGS**

R.R. Dautov

KSPEU, Kazan, Russia

[gluza.dautova@ya.ru](mailto:gluza.dautova@ya.ru)

The article discusses the advantages of heat supply systems based on heat pump installations, provides classification by types of low-potential thermal energy used.

**Keywords:** heat pump, low-potential heat sources, steam compression, heating, hot water supply.

Тепловые насосы (ТН) являются современной перспективной технологией отопления, не имеющей выбросов углекислого газа при теплоснабжении зданий. Данные агрегаты используют процесс парокомпрессии, т.е., сжатия парообразного агента в электрическом компрессоре. В тепловом насосе преобразуется тепловая низкопотенциальная энергия из окружающего наружного воздуха, воды или земли в высокопотенциальную, далее она подается внутрь жилого помещения. Им также возможно обеспечить жилое здание горячим водоснабжением.

Процесс преобразования низкопотенциального тепла отличается высокой эффективностью, поскольку при этом вырабатывается от трех до пяти единиц тепла на каждую единицу электроэнергии, необходимую для работы ТН [1].

Помимо высокой эффективности, тепловые насосы также используют преимущественно возобновляемое тепло, а не полагаются на сжигание ископаемого топлива. Поскольку большая часть полезного тепла от ТН поступает из неисчерпаемых источников окружающей среды, 70-80% энергии, вырабатываемой данной установкой, является возобновляемой.

Тепловые насосы подразделяют по источнику и поглотителю тепла, рабочему агенту (хладагенту) для нагрева, а также по термодинамическому циклу [2].

На практике широко используются следующие виды ТН для теплоснабжения:

1) Тепловые насосы типа "воздух-воздух". Данный тип теплового насоса является наиболее распространенным.

2) Тепловые насосы типа "вода-воздух". Эти тепловые насосы используют воду в качестве источника тепла и поглотителя и используют воздух для передачи тепла в отапливаемое помещение или из него.

3) Тепловые насосы типа "вода-вода". Этот вид использует воду в качестве источника тепла для нагрева. Переключение нагрева или охлаждения может быть произведено в контуре хладагента, но часто удобнее выполнять его в контурах подачи воды.

4) Наземные геотермальные тепловые насосы. Такие ТН используют землю в качестве источника тепла. Установка может иметь теплообменник типа хладагент-вода или может быть с прямым подключением. В первых системах водяной раствор или антифриз перекачивается по горизонтальным, вертикальным или спиральным трубам, встроенным в грунт [3].

Система теплоснабжения с геотермальным тепловым насосом включает в себя три основных компонента: подсистему подключения к

земле, подсистему непосредственно самого теплового насоса и подсистему распределения тепловой энергии [4].

В последнее время именно система теплоснабжения на базе геотермального теплового насоса привлекает все больше внимания благодаря своему превосходству в энергоэффективности и экологичности. Объясняется это тем, что температура грунта круглогодично постоянна ниже линии замерзания. Также он имеет более высокую температуру в середине зимы в сравнении с наружным воздухом [5].

Таким образом, поддержание ежегодных темпов роста новых установок с тепловыми насосами на достаточном уровне является дальнейшей перспективой развития в сфере теплоснабжения нашей страны. Это потребует расширения политики по поддержке внедрения тепловых насосов и популяризации данной технологии среди населения.

### **Источники**

1. Даутов Р. Р. Экологические аспекты применения тепловых насосов в индивидуальном отоплении / Р. Р. Даутов, А. Е. Кондратьев // Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование : Международная научно-техническая конференция. Электронный сборник научных статей по материалам конференции. В 3-х томах, Алматы, Казань, 20–21 октября 2022 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 192-195. – EDN TTETWR.

2. Даутов Р. Р. Особенности применения теплового насоса для систем теплоснабжения в Республике Татарстан / Р. Р. Даутов, А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 410-412. – EDN BOWICU.

3. Даутов Р. Р. Перспективы использования тепловых насосов для отопления жилых зданий в России / Р. Р. Даутов, А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 675-677. – EDN KDHLEV.

4. Кондратьев А. Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А. Е. Кондратьев // Приборостроение и

автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFPHGG.

5. Шарафисламова Э. А. Совместная работа теплового насоса с ветрогенератором малой мощности / Э. А. Шарафисламова, А. Е. Кондратьев. – 2016. – № 2. – С. 256-258. – EDN YGGYGN.

УДК 620.97

## ОРГАНИЧЕСКИЙ ЦИКЛ РЕНКИНА КАК СПОСОБ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Н.Н. Дроздов

Науч. рук. ст. преп. С.В. Латушкина

ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

nndrozdov@mail.ru

В статье рассмотрены способы преобразования низкопотенциальной тепловой энергии в электрическую при помощи органического цикла Ренкина (ОЦР), преимущества и применимость данного способа, область практического применения ОЦР.

**Ключевые слова:** органический цикл Ренкина, утилизация низкопотенциальной тепловой энергии, органические жидкости.

## ORGANIC RANKIN CYCLE AS A METHOD OF CONVERTING LOW- POTENTIAL THERMAL ENERGY INTO ELECTRICITY

N.N. Drozdov

BrSU, Bratsk, Russia

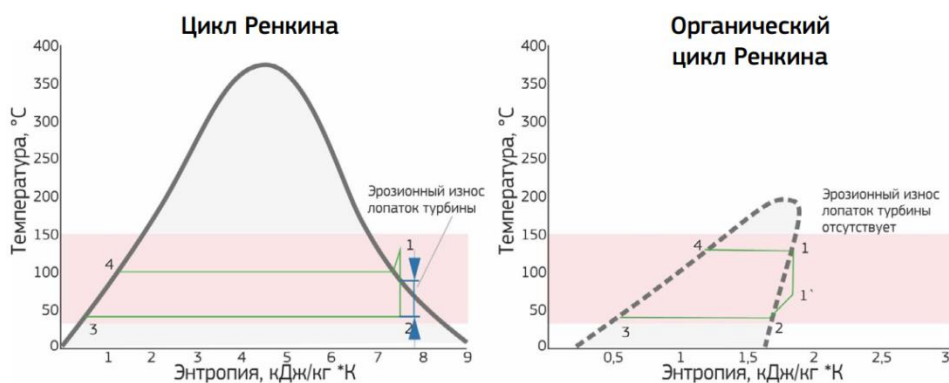
nndrozdov@mail.ru

The article discusses the ways of converting low-potential thermal energy into electrical energy using the organic Rankine cycle (ORC), the advantages and applicability of this method, the area of practical application of the ORC.

**Keywords:** organic Rankine cycle, utilization of low-potential thermal energy, organic liquids.

Источник энергии принято считать низкопотенциальным, если его температура не превышает 230 °С. Такие температуры характерны для геотермальных и солнечных электростанций, в которых в качестве источников низкопотенциального тепла выступают тепло грунта, подземных вод, наружного воздуха. Существуют различные способы преобразования низкопотенциального тепла в электроэнергию. В частности, двигатель Стирлинга, термоэлектрические генераторы и двигатели на основе ОЦР.

На рисунке изображена последовательность протекания парового и органического циклов Ренкина.



Отличие парового и органического циклов Ренкина [1]: 1-2 – срабатывание пара в турбине (1'-2 – охлаждение пара в рекуператоре); 2-3 конденсация пара в конденсаторе; 3-4 – сжатие и нагрев рабочего тела в питательном насосе; 4-1 – нагрев, испарение и перегрев рабочего тела

Отличие органического цикла Ренкина от парового заключается в использовании вместо водяного пара пара органической жидкости с большим молекулярным весом, что позволяет турбине генератора работать на низких оборотах. Именно ОЦР используют в подавляющем большинстве случаев, когда недоступны высокие температуры теплоносителя. Для функционирования генератора ОЦР рабочая жидкость должна иметь низкую температуру кипения, чтобы жидкость не затвердела по ходу всего рабочего цикла. На практике это позволяет использовать установки на основе данного принципа при низких температурах окружающего воздуха ввиду устойчивости рабочего тела к замерзанию. Чаще прочих используются соединения бутана и пентана.

Граница применимости ОЦР зависит от возможностей конкретного рабочего тела и его выбора. Данному вопросу посвящена статья [2]. В ней описываются свойства 31 фреона, рассматриваемых в качестве рабочих тел

для генератора ОЦР с диапазоном температур 30-100 °С.

Соответственно, данный цикл находит применение преимущественно на тепловых электростанциях: геотермальных, солнечных, микро-ТЭЦ, утилизирующих бросовую теплоту промышленных предприятий, газотурбинных установках (ГТУ), двигателей внутреннего сгорания [3].

Существует множество промышленных предприятий, заинтересованных в энергогенерации за счет бросового тепла или низкопотенциального тепла вторичных энергоресурсов. На данный момент ОЦР в решении задачи утилизации бросового тепла применяется на источниках с температурой, превышающей 100 °С. Пример расчета эффективности использования ОЦР при утилизации дымовых газов с температурой 150 °С на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) приведен в статье [4]. Данный температурный диапазон представляется реальным расширить путем догрева источников температурой ниже 30 °С при помощи теплового насоса наподобие того, что указан в статье [5]. Использование ОЦР в утилизации бросового тепла с градиент тепловых станций с последующей энергогенерацией в модулях ОЦР способно теоретически повысить эффективность всей энергосистемы страны, сброс охлажденной воды способен частично решить проблему возникновения парового факела градиент при охлаждении оборотной воды.

Таким образом, технология ОЦР способна решить множество проблем как экологического, так и экономического характера, связанных с утилизацией низкопотенциального тепла на энергообъектах по всей стране, решая проблему утилизации тепла путем его преобразования в электрическую энергию.

### **Источники**

1. ORC-генерация: вторичные энергоресурсы для обеспечения потребностей предприятия [Электронный ресурс] URL: <https://1-engineer.ru/orc-generaciya-ispolzovanie-vtorichnyh-energoresurov-dlya-obespecheniya-energeticheskikh-potrebnostei-predpriyatiya/?amp=1> (Дата обращения: 03.03.2023)

2. Saleh B., Koglbauer G., Wendland M., Fischer J. Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles. Energy, 2007, vol. 32, pp. 1210-1221.

3. Карабрин Д.И., Михайленко С.А. Использование низкопотенциальных источников энергии на основе органического цикла Ренкина // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, 2018, 11(7), 867-876.



4. Шереметьев С.С., Аписит К.А., Лавров Н.А. Утилизация тепловой энергии с помощью органического цикла Ренкина // материалы международной научно-практической конференции. Научный центр «Диспут». 2016, Издательство: ООО «Маркер», 22-23.

5. Малоземова П.В., Соснина Л.В., Адищев В.В. Утилизация тепла оборотной воды в производственном цикле // Вестник магистратуры. 2016. № 5(56). Т. I, 91-93.

УДК 621.352

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Р.Р. Зарипов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Э.А. Ахметов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
razilzar@mail.ru

В данной статье рассмотрено использование топливного элемента в качестве источника тепла и электрической энергии.

**Ключевые слова:** топливный элемент, эффективность, окружающая среда, индивидуальные генераторы, энергоснабжение.

## USE OF A FUEL CELL AS A SOURCE OF ENERGY SUPPLY

R.R. Zaripov

KSPEU, Kazan, Russia  
razilzar@mail.ru

This paper considers the use of fuel cell as a source of heat and electric energy.

**Key words:** fuel cell, efficiency, environment, individual generators, power supply.

Зависимость от ископаемого топлива является одной из наиболее сложных проблем, с которой необходимо бороться в последнее время. Это связано с тем, что их использование не является устойчивым и приводит к серьезным экологическим проблемам, таким как: загрязнение воздуха и глобальное потепление [1]. На данный момент есть альтернативы ископаемому топливу, которые будут более экологически чистыми, устойчивыми и эффективными. Среди всех различных технологий,

связанных с возобновляемой энергией, технологии топливных элементов представляют собой одно из наиболее перспективных технологических достижений для исправления ситуации [2].

Топливный элемент представляет собой электрохимический источник энергии, который преобразует химическую энергию в виде топлива непосредственно в электрическую энергию. Технология топливных элементов позволяет напрямую преобразовывать химическую энергию в электрическую вместо многоступенчатых процессов, используемых в тепловых двигателях на основе внутреннего сгорания [3]. Однако, в отличие от других электрохимических источников энергии, таких как батареи, которые хранят свои реагенты внутри элемента, реагенты непрерывно подаются в топливный элемент из внешних хранилищ. Также электроды в топливном элементе не расходуются, как в батарее, необратимо в первичном элементе и обратимо во вторичном элементе, и не принимают участия в реакции. Топливные элементы определены как одна из наиболее перспективных технологий, которые в значительной степени связаны с развитием возобновляемой энергетики [4].

Топливные элементы уже коммерчески используются для выработки электроэнергии в некоторых приложениях, в том числе в космических кораблях и в нескольких стационарных целях, таких как генераторы аварийного питания. Сегодня топливные элементы достигли такого уровня развития, из которого можно сделать вывод, что у них есть перспективные рынки, на которых электроэнергия должна производиться с высокой эффективностью и низким воздействием на окружающую среду. Кроме того, были построены и успешно эксплуатируются многочисленные электростанции на основе топливных элементов с различными масштабируемыми конструкциями от десятков мегаватт до нескольких милливольт. Однако стоимость топливных элементов является одним из препятствий на пути коммерциализации технологии топливных элементов в различных приложениях. Заправка топливных элементов является еще одной фундаментальной проблемой, поскольку производство, транспортировка, распределение и хранение реагентов все еще технически сложны. Другие ограничения включают долговечность и надежность системы топливных элементов [5].

### **Источники**

1. Банников А.В. Топливные элементы в системах энергообеспечения: учебное пособие / А.В. Банников, С.А. Банникова ; А.В. Банников, С.А. Банникова, 2010. – 110 с.

2. Чичиров А.А. Топливные элементы / А.А. Чичиров // Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике : коллективная монография. – Казань : Издательство Казанского государственного энергетического университета, 2014. – С. 130-161.

3. Лебедева М.В. Топливные элементы – характеристика, физико-химические параметры, применение / М.В. Лебедева, Н.А. Яштулов. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Мир науки", 2020. – 63 с.

4. Вязников А.М. Новые информационные технологии в энергетике. Топливные элементы в системах электроснабжения / А.М. Вязников, А.С. Кобылкин, В. А. Пионкевич, 2020. – 97 с.

5. Гатина Р.З. Перспективы развития малой энергетики с использованием топливных элементов / Р.З. Гатина, Н. М. Гафуров, Р.Р. Зайнуллин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – Т. 10, № 1(37). – С. 88-96. – EDN XSFUPZ.

УДК 536.2

## ПИНЧ-АНАЛИЗ ТЕПЛООБМЕННЫХ СЕТЕЙ

А.С. Захаров<sup>1</sup>, Ю.В. Ваньков<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>artem-zaxarov\_94@mail.ru, <sup>2</sup>yvankov@mail.ru

В данной статье рассматривается метод пинч-анализа в связи с постоянным удорожанием энергоносителей и необходимостью рационального использования энергоресурсов.

**Ключевые слова:** пинч-анализ, энергия, пинч-метод.

## PINCH ANALYSIS OF HEAT EXCHANGE NETWORKS

A.S. Zakharov<sup>1</sup>, Y.V. Vankov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>artem-zaxarov\_94@mail.ru, <sup>2</sup>yvankov@mail.ru

This article discusses the method of pinch analysis in connection with the constant rise in the cost of energy carriers and the need for rational use of energy resources.

**Key words:** pinch analysis, energy, pinch method.

В начале 1980-х годов, на фоне "энергетического кризиса", появилась пинч-технология как инструмент для проектирования теплообменных сетей. Ее ключевой особенностью было предоставление инженеру простые концепции для интерактивного использования, позволяющие инженеру сохранять контроль над ситуацией. Применяя Пинч-анализ, инженер мог рассчитать "целевые" энергетические потребности для любого процесса, и создавать термически эффективные и промышленно приемлемые конструкции [1].

Основная концепция проста: производительность любой системы всегда ограничена одним ограничением - Пинч - точно так же, как прочность цепи определяется прочностью самого слабого звена. Если нужна более прочная цепь, анализ пинча учит, что наиболее экономически эффективная стратегия заключается не в замене цепи новой, а в увеличении прочности существующей цепи путем выборочной замены самого слабого звена (звеньев).

Пинч-анализ практически мгновенно получил признание как превосходный подход к проектированию оптимальных сетей теплообменников (HEN), при этом должным образом учитываются капитальные затраты и требования к окупаемости. Типичная экономия топлива составляла 20% и более по сравнению с существующим или предыдущей оптимальной конструкцией. Следующим крупным достижением стало расширение применения пинч-анализа на анализ коммунальных систем на объекте, таких как котлы, турбины, тепловые насосы и холодильные системы, и были разработаны методы для оптимального проектирования комбинированных теплоэлектростанций (ТЭЦ) систем [2].

Суть метода заключается в поиске оптимальных способов передачи тепла от технологических потоков, нуждающиеся в охлаждении (горячие потоки), к потокам, требующим нагрева (холодные потоки). Такая интеграция потоков требует установки дополнительного теплообменного оборудования. Для этого надо найти степень интеграции потоков, где затраты на создании теплообменной площади восполняются понижением расхода внешних энергетических носителей [3].

Исходные данные для процесса представлены в виде потоков энергии или тепловой нагрузки (кВт), зависящих от температуры (°C). Эти данные используются для получения составных кривых: одну для всех холодных потоков (которые требуют тепло) и одну для всех горячих потоков (которые отдают тепло) [4]. Ближайшая точка нахождения горячей и холодной составных кривых — это пинч-температура, являющаяся

точкой наибольшего ограничения. После этого начинается процесс проектирования для достижения целевой энергии с помощью передачи теплоты между холодными и горячими потоками посредством теплообменников.

Применение пинч-метода позволяет добиться значительной финансовой экономии за счет максимального использования рекуперации тепла в рамках рассматриваемой энерготехнологической системы и минимизации использования внешних энергоносителей, как подводящих, так и отводящих энергию. Это позволяет уменьшать количество сточных вод, а так же число теплообменных аппаратов и, как следствие, поверхности теплообмена. Помимо этого уменьшаются выбросы углекислого газа, оптимизируется перепад давления в сети и размещение силовых установок. В процессе усовершенствования существующих производств пинч-технологии дают возможность всеми способами пользоваться внедренными установками в новых рабочих сетях, что уменьшает капиталовложения в реконструкцию [5].

#### **Источники**

1. Юшкова Е.А. Эксергетический метод анализа теплоэнергетических систем / Е.А. Юшкова / Международный университет ресурсов. Научные доклады по проблемам ресурсов. - 2017. - Vol. 1. - С. 457.

2. Муслина Д.Б. К вопросу о применении пинч-анализа для повышения эффективности использования тепловой энергии // Вестник Луганского Национального Университета имени Владимира Даля. - 2017. - №1-1 (3). - С. 98-102.

3. Уляшева В.М., Пономарев Н.С. Анализ мероприятий по энергосбережению при эксплуатации нефтяного месторождения // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2019. - №11 С. 82-87.

4. Ли Б. Х. Улучшенный метод проектирования для модернизации сетей промышленных теплообменников на основе пинч-анализа / Б. Х. Ли, Я. Е. Chota Castillo, С. Т. Chang // 2019. - Том 148. - pp. 260-270.

5. Юшкова Е.А. Эксергетический метод анализа теплоэнергетических систем / Е.А. Юшкова // Сборник материалов: «XXX международной научно-практической конференции «Достижения вузовской науки»», Новосибирск: ЦРНС. – 2017. – С. 82-86.

## **ПИНЧ-АНАЛИЗ И ЕГО ПРИНЦИПЫ, ПРЕИМУЩЕСТВА И ОГРАНИЧЕНИЯ**

А.С. Захаров

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

artem-zacharov\_94@mail.ru

В статье будет представлен обзор пинч-анализа, включая его принципы, преимущества и ограничения.

**Ключевые слова:** пинч-анализ, оптимизация, энергоэффективность.

## **PINCH-ANALYSIS AND ITS PRINCIPLES, ADVANTAGES AND LIMITATIONS**

A.S. Zakharov

KSPEU, Kazan, Russia

artem-zacharov\_94@mail.ru

This article will provide an overview of pinch-analysis, including its principles, advantages, and limitations.

**Key words:** pinch-analysis, optimization, energy efficiency.

Пинч-анализ - это мощный инструмент для оптимизации использования энергии в химических процессах. Это систематический подход, который направлен на минимизацию энергопотребления путем определения минимальных потребностей в энергии для нагрева и охлаждения.

Метод пинч-анализа основан на принципах термодинамики, которая утверждает, что энергия не может быть создана или уничтожена, но может быть переведена из одной формы в другую. Метод направлен на оптимизацию передачи энергии в химическом процессе путем определения местоположения пинч точки. Пинч точка - это точка в процессе, где пересекаются кривые тепла [1].

Метод предполагает разделение процесса на горячий и холодный потоки и оптимизацию использования энергии путем теплообмена между этими двумя потоками. Целью является снижение энергии, необходимой

для нагрева и охлаждения процесса, при одновременном соблюдении требований к тепло - и массообмену в процессе [2].

Метод подчеркивает важность интеграции тепла, что предполагает определение возможностей использования отработанного тепла одной части процесса для удовлетворения потребностей в тепле другой части процесса. Таким образом, метод снижает общее энергопотребление процесса и минимизирует потребность во внешних источниках энергии.

Пинч-анализ предлагает множество преимуществ, включая [3]:

Экономия энергии: Метод может помочь снизить энергопотребление процесса на 30%. Такое снижение энергопотребления может привести к значительной экономии затрат и экологическим преимуществам.

Повышение эффективности процесса: Оптимизируя использование энергии в процессе, пинч-анализ может повысить общую эффективность процесса. Это может привести к повышению производительности, сокращению отходов и улучшению качества продукции.

Экологические преимущества: Снижая потребление энергии, пинч-анализ может помочь уменьшить выбросы парниковых газов и другие воздействия на окружающую среду, связанные с промышленными процессами.

Экономия затрат: Пинч-анализ может привести к значительной экономии затрат за счет снижения энергопотребления процесса. Эта экономия может быть реинвестирована в бизнес или использована для улучшения качества продукции или повышения производительности.

Несмотря на многочисленные преимущества пинч-анализа, он также имеет некоторые ограничения [4]. К этим ограничениям относятся:

Требуется данные о процессе: метод требует точных данных о процессе, включая скорость потока, температуру и состав потоков в процессе. Без этих данных невозможно провести тщательный анализ процесса и определить возможности для интеграции тепла.

Ограничен стационарными процессами: Метод ограничен стационарными процессами и может оказаться неэффективным для процессов с динамическими или переходными условиями.

Сложность: Пинч-анализ может быть сложным, и для его эффективного проведения может потребоваться специализированное программное обеспечение и обученный персонал.

В заключении хочется сказать, что пинч-анализ - это инструмент для оптимизации энергопотребления в химических процессах. Он дает множество преимуществ, включая экономию энергии, повышение эффективности процесса и экологические преимущества [5]. Однако он

также имеет некоторые ограничения, включая необходимость в точных данных о процессе и ограниченную применимость к стационарным процессам. В целом, пинч-анализ является ценным инструментом для предприятий, стремящихся повысить энергоэффективность и снизить воздействие на окружающую среду.

### **Источники**

1. Муслина Д.Б. К вопросу о применении пинч-анализа для повышения эффективности использования тепловой энергии // Вестник Луганского Национального Университета имени Владимира Даля. - 2017. - №1-1 (3). - С. 98-102.
2. Шперук Л.М. Пинч-анализ как инструмент достижения энергоэффективности // Успехи в химии и химической технологии Т. 32. № 8(204). Год 2018. С. 12-14.
3. Жулаев С.В. Пинч-анализ и оптимизация промышленных объектов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2012, №2
4. Якупов Ш.И. Метод оценки эффективности теплообменного оборудования // Аллея науки Т. 2. № 9 Год 2017 С. 262-266.
5. Ли Б. Х. Улучшенный метод проектирования для модернизации сетей промышленных теплообменников на основе пинч-анализа / Б. Х. Ли, Я. Е. Chota Castillo, С. Т. Chang// 2019. - Том 148. - pp. 260-270.

УДК 620.178.5

## **АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ЭНТРОПИЙНОЙ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНТРОПИИ ШЕННОНА**

Н.А. Зубарев<sup>1</sup>, С.О. Гапоненко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zubarev\_n@mail.ru, <sup>2</sup>sogaponenko@yandex.ru

В данной статье представлен результат эксперимента с смоделированными сигналами, показывающего эффективность метода энтропийной параметризации для обработки вибродиагностических сигналов.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, вибороакустический контроль, энтропия Шеннона, обработка сигнала.



# APPROBATION OF THE METHOD OF ENTROPY PARAMETRIZATION OF VIBRODIAGNOSTIC SIGNALS USING SHANNON ENTROPY

N.A. Zubarev<sup>1</sup>, S.O. Gaponenko<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>zubarev\_n@mail.ru, <sup>2</sup>sogaponenko@yandex.ru

This article presents the result of an experiment with modulated signals showing the effectiveness of the entropy parametrization method for processing vibrodiagnostic signals.

**Keywords:** non-destructive testing, vibroacoustic control, Shannon entropy, signal processing.

В настоящее время одним из наиболее распространенных методов неразрушающего контроля является метод виброакустического контроля, основанный на записи сигнала и последующей его обработке [1]. Обработка сигнала проводится различными методами спектрального анализа, такими как вейвлет-преобразования и преобразования Фурье, которые относятся к спектральному анализу сигналов, а также определением энтропийных показателей сигнала, к которым относятся энтропия Шеннона, Колмогорова, Колмогорова-Синая, Реньи и т.д. [2]

Энтропийная параметризация сигнала основывается на том, что шумы, отсекаемые при стандартной обработке сигнала, носят в себе более полную информацию о состоянии объекта [3]. Благодаря обработке сигнала с использованием энтропийных параметров можно судить о наличии дефекта в объекте контроля.

После проведения теоретических исследований, среди энтропий Колмогорова-Синая, Реньи и Шеннона, наиболее перспективной себя представляет энтропия Шеннона, которая дает количественную оценку отклонения распределения значений временного ряда по уровням от равновероятного, то есть дает представление о изменчивости сигнала. Энтропия вычисляется по формуле, выдвинутой в 1948 году Клодом Шенноном [4]:

$$H_{sh} = -\sum_{i=1}^n p_i \log_b p_i,$$

где  $n$  - количество возможных событий,  $b$  - единицы измерения информации (2 - биты, 3 – триты и т.д.),  $p_i$  — вероятность события.

Для проведения исследования, в среде MATLAB были смоделированы синусоидальные сигналы, характеризующие состояние оборудования без дефекта и с наличием дефекта. В дальнейшем они были обработаны с использованием энтропии Шеннона.

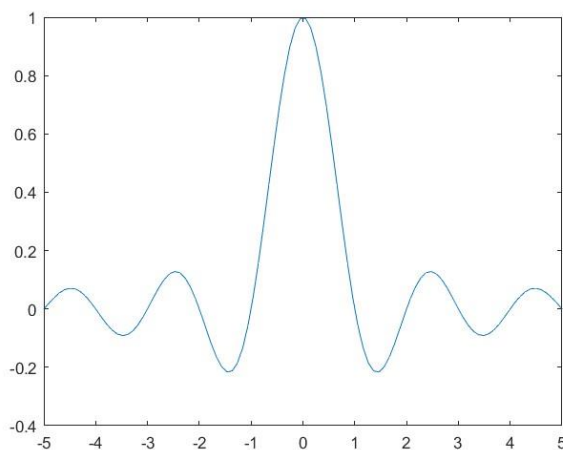


Рис. 1. Сигнал, характеризующий отсутствие дефекта

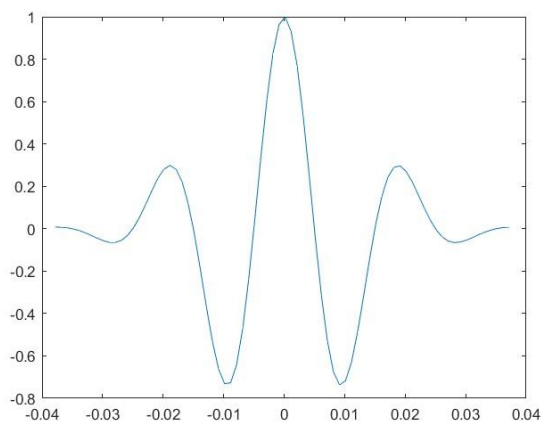


Рис. 2. Сигнал, характеризующий наличие дефекта

В результате проведенного исследования, были получены результаты, показывающие увеличение энтропии прямо пропорционально увеличению хаотичности сигнала. Соответственно можно сделать вывод, что изменение энтропии Шеннона показывает изменение сигнала, а следовательно, показывает и наличие дефекта, изменяющего исследуемый сигнал.

### Источники

1. Гапоненко, С. О. Использование энтропийной параметризации

вибродиагностических сигналов для контроля технического состояния трубопроводов / С. О. Гапоненко // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 657-659. – EDN MRSUDP.

2. Шакурова, Р. З. Энтروпийные методы анализа вибродиагностических сигналов для оценки технического состояния трубопроводов / Р. З. Шакурова, А. Е. Кондратьев, С. О. Гапоненко // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 753-756. – EDN EBNTBY.

3. Шакурова, Р. З. Энтропийная параметризация вибрационных характеристик в технической диагностике / Р. З. Шакурова, А. Е. Кондратьев, С. О. Гапоненко // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2021. – № 2. – С. 177-179. – EDN NTVVZA

4. Новый подход к контролю технического состояния трубопроводов на основе энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов / С. О. Гапоненко, А. Р. Загретдинов // Тинчуринские чтения - 2021 "Энергетика и цифровая трансформация" Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова . – Казань: Общество с ограниченной ответственностью Полиграфическая компания "Астор и Я", 2021. – С. 101-104. – EDN NDQRHH.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ, НАХОДЯЩЕГОСЯ НА ТЕРРИТОРИИ КРАЙНЕГО СЕВЕРА РФ**

А.О. Иванов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Ю.Н. Звонарева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

artkazan94@mail.ru

Главной целью исследования является рассмотрение оптимизации режимов работы системы теплоснабжения здания, находящегося на территории Крайнего Севера Российской Федерации. Результатом авторского исследования стало заключение о том, что применение автоматических балансировочных клапанов на вводе в систему отопления, совместно с установкой терморегуляторов на радиаторах отопления в здании позволит поддерживать постоянный перепад давления, стабильную работу системы отопления и низкий уровень шума, а также сэкономить на потреблении тепловой энергии.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, теплоснабжение, автоматический балансировочный клапан, терморегулятор.

## **OPTIMIZATION OF OPERATION MODES OF THE HEAT CONSUMPTION SYSTEM OF THE BUILDING LOCATED IN THE TERRITORY OF THE FAR NORTH OF THE RUSSIAN FEDERATION**

A.O. Ivanov

KSPEU, Kazan, Russia

artkazan94@mail.ru

The main purpose of the study is to consider optimization of modes of operation of the heat consumption system of the building located in the Far North of the Russian Federation. The result of the author's study was the conclusion that the use of automatic balancing valves at the inlet to the heating system, together with the installation of thermostatic regulators on the radiators in the building will maintain a constant pressure drop, stable of the heating system and a low noise level, and will save on heat energy consumption.

**Keywords:** energy saving, energy efficiency, heat consumption, automatic balancing valve, thermostatic regulator.

В настоящее время российская Арктика является одним из главных ресурсных регионов РФ. Север и Арктика РФ, расположенные в высоких и ультравысоких широтах отдаленные от центров промышленного и сельскохозяйственного производства области страны, характеризуются суровыми природно-климатическими условиями, незначительной заселенностью, повышенными затратами на производство продукции и жизнеобеспечение населения. Отопительный период в таких местах достигает 300 дней в году [1].

Объектом настоящего исследования было определено 2-х этажное административное здание промышленного предприятия, в котором система отопления регулируется за счет, установленной на подающем трубопроводе дроссельной шайбы и полипропиленовых кранов на подающем и обратном трубопроводе радиаторов.

В ходе изучения и осмотра существующей системы отопления административного здания рассматриваемого объекта было выявлено нарушение гидравлического режима тепловой сети и сопутствующие ему, так называемые, «недотопы» и «перетопы» здания.

Основные причины неэффективного использования энергоресурсов со стороны системы теплоснабжения:

- неравномерность распределения теплоносителя по зданию;
- невозможность индивидуального регулирования температуры воздуха в помещениях.

В целях устранения причин неэффективного использования энергоресурсов предлагается установить автоматические балансировочные клапаны на вводах в систему отопления и терморегуляторы на радиаторах отопления фирмы «Ридан» (см. рисунок).

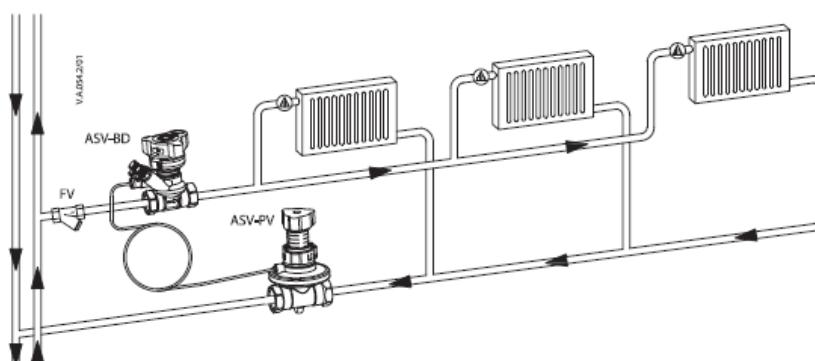


Схема установки автоматических балансировочных клапанов

Терморегуляторы устанавливаются на самих радиаторах для поддержания комфортной температуры внутри помещения.

Автоматический балансировочный клапан Ридан ASV-P устанавливается на обратном трубопроводе для равномерного распределения давления во время резких перепадов. Клапан-партнер Ридан ASV-BD устанавливается на подающем трубопроводе для ограничения расхода рабочей среды на установленную величину. Вместе они поддерживают постоянный перепад давления, стабильную работу регулирующих клапанов и низкий уровень шума, а также нет необходимости в сложной и долгой наладке системы [2]. Стоимость рассчитанного оборудования составляет порядка 300 тыс. рублей.

Для оценки энергоэффективности предлагаемых мероприятий и сокращения финансовых затрат при их внедрении, была создана математическая модель.

Согласно данным, подтвержденным опытным путем, экономический эффект от предлагаемых мероприятий составляет порядка 20% [3].

Годовая экономия тепловой энергии здания, для рассматриваемого объекта, составит 80 Гкал, что в денежном выражении сэкономит порядка 83 тыс. рублей за отопительный сезон.

Срок окупаемости предлагаемых мероприятий, без учета роста тарифов на энергоресурсы, составляет 3,5 года.

Данное техническое решение является универсальным и может быть реализовано на других аналогичных объектах.

### **Источники**

1. Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности энергоснабжения в северных регионах России / Энергосбережение. - 2017. - №2 – с. 40-45.

2. Техничко-экономическое обоснование эффективности применения энергосберегающего оборудования. / Под ред. Павел Жаров – ООО «Данфосс», 2015 г. – 39 стр.

3. Звонарева Ю.Н. Изменение параметров работы систем теплоснабжения при поэтапном внедрении АИТП / Ю. Н. Звонарева, К. С. Кузборская // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 109-118.

## СВАЛОЧНЫЙ ГАЗ КАК ИСТОЧНИК ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

А.Ю. Кабатъева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alinochkakabateva@mail.ru

Проблема большого количества свалок является актуальной проблемой не только экологии, но и энергетики. Бытовые отходы представляют собой высококалорийное топливо, которое не уступает по энергоэффективности традиционным источникам энергии.

**Ключевые слова:** Свалочный газ, полигон, ацидогены, метаногены, нагнетательные устройства, газосборные пункты, газопроводы, сборные коллекторы, нагнетательные устройства.

## LANDFILL GAS AS A SOURCE OF THERMAL ENERGY

A.Yu. Kabateva

KSPEU, Kazan, Russia

alinochkakabateva@mail.ru

The problem of a large number of landfills is an urgent problem not only of ecology, but also of energy. Household waste is a high-calorie fuel that is not inferior in energy efficiency to traditional energy sources.

**Keywords:** Landfill gas, landfill, acidogens, methanogens, injection devices, gas collection points, gas pipelines, collecting collectors, injection devices.

На протяжении многих лет твердые бытовые и коммунальные отходы складировались на полигонах. Потребности человека увеличивается и как следствие свалок становится все больше. В настоящее время строятся мусороперерабатывающие заводы, способные хранить отходы так, чтобы стало возможным извлекать из них выделяющийся газ для дальнейшего использования. Так как транспортировка газа довольно трудоемкий процесс, то чаще всего он используется прямо на месте для выработки тепловой или электрической энергии [1].

Свалочный газ представляет из себя смесь природного метана с углерода. Разложение отходов происходит под воздействием как

метаногенных, так и ацидогенных бактерий. Ацидогены производят первичное разложение отходов на летучие вещества, а метаногены перерабатывают их в метан и диоксид углерода. Содержание метана в свалочном газе достигает 50%. Он обладает очень высокой теплотворной способностью (в 25 раз больше, чем у диоксида углерода), поэтому выбросы метана гораздо сильнее влияют на изменение климата. А также свалочный газ является одной из причин возгорания твердых бытовых отходов на полигонах, при достижении концентрации в воздухе 5-14% метана и 13% кислорода может образоваться опасная смесь, приводящая к взрыву. Эта проблема нашла способ решения в качестве улавливания свалочного газа и использования его в энергетике [2].

Для того, чтобы начать производство биогаза, необходим полигон определенной конструкции, которая позволяет собирать газ, не загрязняя почву и воду. Предотвратить загрязнение почвы и воды, выброс токсических веществ, а также выполнить дренирующую функцию способен специальный гидроизоляционный материал в виде геомембраны. Отходы в котлован засыпаются по слоям, а в конце застилаются кровлей, а именно толстым слоем глины и почвы с растительным покровом [3].

Далее происходит отбор из свалочного газа метана, который направляется на газоочистку в скруббер. Здесь газ проходит стадию очищения от пыли, влаги, серы и других примесей.

С целью сбора конденсата, газ направляется в газосборные пункты. В нем соединяются все сборные газопроводы, ведущие к сборным коллекторам. Они выполняются в виде вертикальных скважин, либо горизонтальных трубопроводов и проходят через толщу отходов, в которых создается разрежение. Конденсат отводится системой отведения, находящейся в нижней точке системы – газосборном пункте [4].

Различные устройства для нагнетания воздуха (вентиляторы, воздуходувки) предназначены для обеспечения необходимой степени разрежения, необходимого для транспортировки газа и создания избыточного давления.

Для обеспечения достаточного сбора газа на полигоне, необходимы некоторые условия [5]:

- 1) Создание достаточного разрежения в толще;
- 2) Минимизация подсосов воздуха;
- 3) Обеспечение стабильной работы при механических и статических нагрузках, а также длительной эксплуатации;
- 4) Связь производительности с интенсивностью образования газа;
- 5) Возможность расширения системы.



Особенности добычи и состава биогаза, вынуждают обратиться к очистке от вредных и балластных примесей перед использованием в тепловых установках. При подготовке газа к использованию он проходит через несколько этапов очистки:

- 1) Осушка и извлечение взвесей
- 2) Извлечение сероводорода
- 3) Отделение углекислого газа
- 4) Сжатие и сжижение

После очистки газ может быть использован для выработки тепловой энергии с помощью сжигания на факельных установках, или электрической энергии, которая вырабатывается турбиной и двигателями.

Газ проходит процесс обогащения в специальных установках – процесс доведения содержания метана до 95%. После этой процедуры газ может свободно использоваться в газовых сетях общего назначения.

#### **Источники**

1. Горбунов К. Г. Законодательные проблемы теплоэнергетики / К. Г. Горбунов, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2019. – № 2. – С. 111-113. – EDN LJVNRC.

2. Shakurova R.Z. On the issue of inertial excitation of diagnostic low-frequency vibrations in pipelines of housing and communal services / R.Z. Shakurova, S.O. Gaponenko, A.E. Kondratiev // E3S Web of Conferences, Kazan, 21–26 сентября 2020 года. Vol. 216. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 01079. – DOI 10.1051/e3sconf/202021601079. – EDN PQKZA.

3. Мустафина Г.Р. Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов Третьей Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 09 июня 2020 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2020. – С. 88-90. – EDN NYXDPA.

4. Кондратьев А.Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А.Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года.

Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFRHGG.

5. Мустафина Г.Р. Особенности конструкций реакторов для получения биотоплива / Г.Р. Мустафина, А.Е. Кондратьев // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СУМГАИТ, 12–13 ноября 2020 года. – СУМГАИТ: Сумгаитский государственный университет, 2020. – С. 277-280. – EDN JJVOBP.

УДК 621.643.8:620.179.17

## **КОНТРОЛЬ УТЕЧЕК ТРУБОПРОВОДОВ ПО АНАЛИЗУ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

И.И. Клюкин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Р. Загретдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ilya.klyukinbkru.96@mail.ru

В работе проведен анализ фрактальной размерности виброакустических колебаний трубопровода при разных размерах утечки. Проведены экспериментальные исследования, установлена зависимость фрактальной размерности сигналов от расхода утечки.

**Ключевые слова:** трубопровод, утечка, фрактальная размерность, виброакустический сигнал.

## **CONTROL OF PIPELINE LEAKS BY ANALYZING THE FRACTAL DIMENSION OF VIBROACOUSTIC SIGNALS**

I.I.Klyukin

KSPEU, Kazan, Russia

ilya.klyukinbkru.96@mail.ru

The paper analyzes the fractal dimension of vibroacoustic vibrations of the pipeline at different sizes of leakage. Experimental studies have been carried out, the dependence of the fractal dimension of the signals on the leakage rate has been established.

**Keywords:** fractal dimension, acoustic signals, pipeline leak detection, acoustic control.

В процессе эксплуатации трубопроводных сетей в них возникают

утечки. Причинами разгерметизации трубопроводов могут быть заводские дефекты, нарушения технологии сварки, коррозионные разрушения и т.п. Как правило, утечки трубопроводов бывают скрытыми (не проявляющимися визуально) и требуют применения специальных методов их обнаружения.

Широкое применение на сегодняшний день находят методы оценки состояния трубопроводных систем по их виброакустическим параметрам. Это связано с тем, что вибросигнал обладает достаточно емкой информацией о состоянии оборудования. Как правило, задача анализа виброакустических сигналов основывается на поиске резонансов и периодических колебаний, все остальное обозначается термином «шум». Однако в трубопроводных системах, внутри которых происходит движение жидкости или газа, всегда присутствуют сложные хаотические колебания, вызванные турбулентностью потока. Турбулентный поток обладает фрактальными, самоподобными свойствами. Фрактальный анализ виброакустических сигналов трубопроводов позволит получить новую качественную информацию о наличии утечек.

В настоящей работе проведен анализ фрактальной размерности виброакустических колебаний трубопровода при разном размере утечки. Фрактальная размерность рассчитывалась с применением метода нормированного размаха (R/S анализа), предложенного британским ученым Г. Э. Херстом [1]. Показатель Херста  $H$  связан с фрактальной размерностью  $D$  соотношением:  $D = 2 - H$  [2].

Проведены экспериментальные исследования на стенде, который представлен на рис. 1.

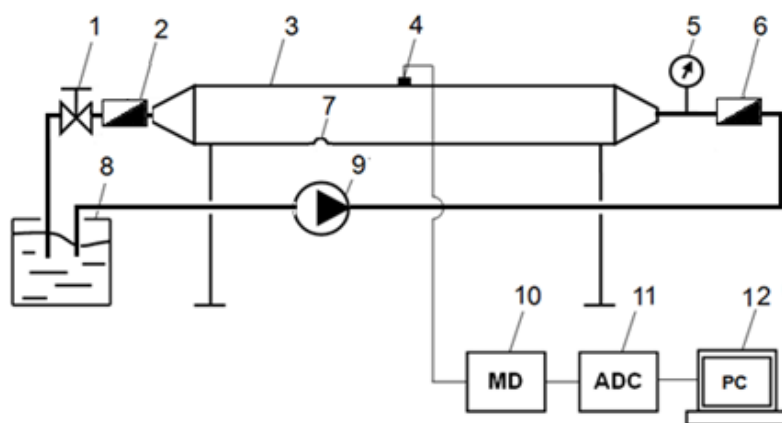


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – вентиль; 2,6 – счетчики воды; 3 – трубопровод (длина 2 м, внешний диаметр 0,159 м, толщина стенки 6 мм); 4 – датчик вибрационного ускорения AP2038P; 5 – манометр; 7 – дефект; 8 – емкость; 9 – насос ХКJ-900I; 10 – согласующее устройство AG01-3; 11 – аналого-цифровой преобразователь NI USB-6229; 12 – компьютер

В качестве моделей дефектов трубопровода использовались диски с отверстиями разного диаметра (от 1 до 5 мм). Диски устанавливались и зажимались на одном уровне со стенкой трубы. С помощью вентиля 1 поддерживалось заданное значение давления нагнетания насоса – 2 бара. Исследовались виброакустические колебания в продольном направлении относительно оси трубопровода [3]. Частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя 10 принята равной 40 кГц. Расход утечки фиксировался по разности показаний счетчиков 6 и 2.

По результатам эксперимента составлен график зависимости фрактальной размерности виброакустических сигналов от расхода утечки (рис. 2).

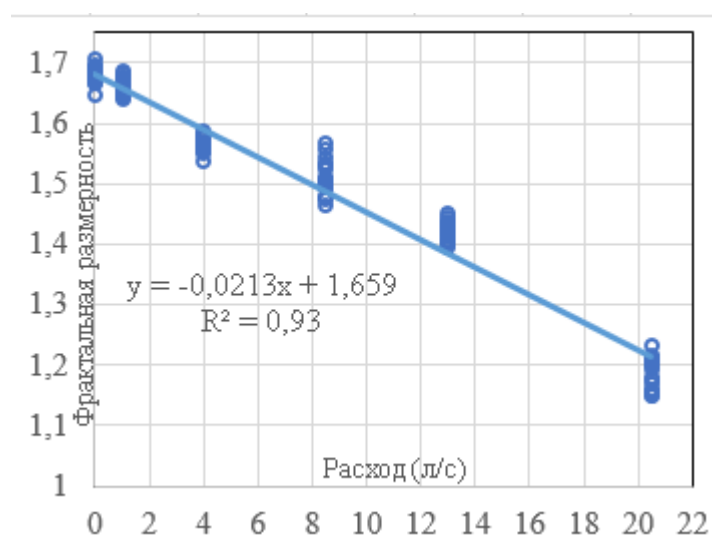


Рис. 2. Зависимость фрактальной размерности от расхода утечки

Из рис. 2 видно, что с увеличением расхода утечки снижается фрактальная размерность виброакустических колебаний трубопровода.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10045, <https://rscf.ru/project/22-79-10045/>

### Источники

1. Ташилова А.А. Статистика Херста (R/S) анализ в исследовании климатических переменных // Науки о земле. – 2021. – №4. – С. 167-190.
2. Кисляков А.Н. Использование фрактальной размерности в техническом анализе рынка криптовалют // Ученые записки. – 2018. – №1(25). – С. 101-105.
3. Ayrat Zagretidinov, Shamil Ziganshin, Yuri Vankov, Eugenia Izmailova, Alexander Kondratiev. Determination of Pipeline Leaks Based on the

УДК 621.643.8:620.179.17

## **ВЛИЯНИЕ ПОРЯДКА АППРОКСИМИРУЮЩЕГО ПОЛИНОМА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ФЛУКТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ УТЕЧЕК ТРУБОПРОВОДА**

И.И. Клюкин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Р. Загретдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ilya.klyukinbkru.96@mail.ru

В работе проведен анализ фрактальной размерности виброакустических колебаний трубопровода при разных размерах утечки. Проведены экспериментальные исследования, установлена зависимость фрактальной размерности сигналов от расхода утечки.

**Ключевые слова:** трубопровод, утечка, акустические сигналы, флуктуационный анализ, метод DFA, скейлинговая экспонента.

## **INFLUENCE OF THE ORDER OF THE APPROXIMATION POLYNOMIAL ON THE RESULTS OF FLUCTUATIONAL ANALYSIS OF ACOUSTIC SIGNALS OF PIPELINE LEAKAGE**

I.I.Klyukin

KSPEU, Kazan, Russia

ilya.klyukinbkru.96@mail.ru

Fluctuation analysis of the acoustic signals of the pipeline was carried out in the work using DFA methods of different order. An experimental bench was developed and created, on which water leaks were simulated. Through holes in the pipe wall of different diameters are considered as defects.

**Keywords:** pipeline, leak, acoustic signals, fluctuation analysis, DFA method, scaling exponent.

Метод анализа флуктуаций относительно тренда (detrended fluctuation analysis, DFA) может быть использован для решения задачи акустического контроля технического состояния трубопроводов.

В рамках алгоритма DFA анализируется среднеквадратическая ошибка аппроксимации обобщенной модели блуждающей частицы в зависимости от размера аппроксимируемого участка [1]. Порядок метода определяется степенью аппроксимирующего полинома, например: DFA-1 – линейного тренда, DFA-2 – квадратичного тренда и так далее [2].

В настоящей работе проведен флуктуационный анализ акустических сигналов трубопровода с применением методов DFA разного порядка. Для этого разработан и создан экспериментальный стенд (рис. 1), на котором моделировались утечки воды [3]. В качестве дефектов рассмотрены сквозные отверстия в стенке трубы разного диаметра (от 1 до 5 мм). С помощью вентиля 1 поддерживалось заданное значение давления нагнетания насоса – 2 бара. Частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя 10 принята равной 40 кГц. Исследовались виброакустические колебания в продольном направлении относительно оси трубопровода.

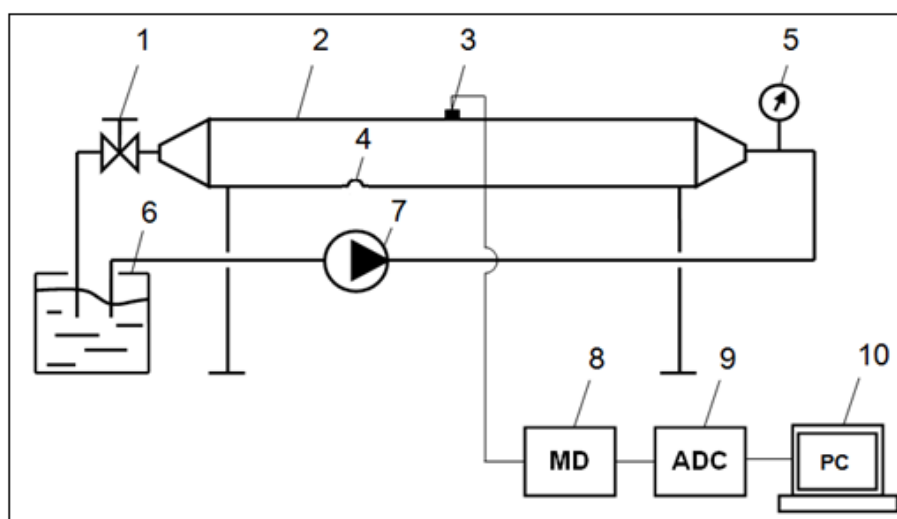


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – вентиль, 2 – трубопровод (длина 2 м, внешний диаметр 0,159 м, толщина стенки 6 мм), 3 – датчик вибрационного ускорения AP2038P, 4 – дефект, 5 – манометр, 6 – емкость, 7 – насос ХКJ-900I, 8 – согласующее устройство AG01-3, 9 – аналого-цифровой преобразователь NI USB-6229, 10 – компьютер.

На рис. 2 показаны значения скейлинговой экспоненты акустических сигналов, полученных с применением методов DFA разного порядка.

Из рисунка 2 видно, что значение скейлинговой экспоненты зависят от выбора степени аппроксимирующего полинома. Применение полинома высоких порядков приводит к снижению достоверности контроля и увеличению времени вычислений.

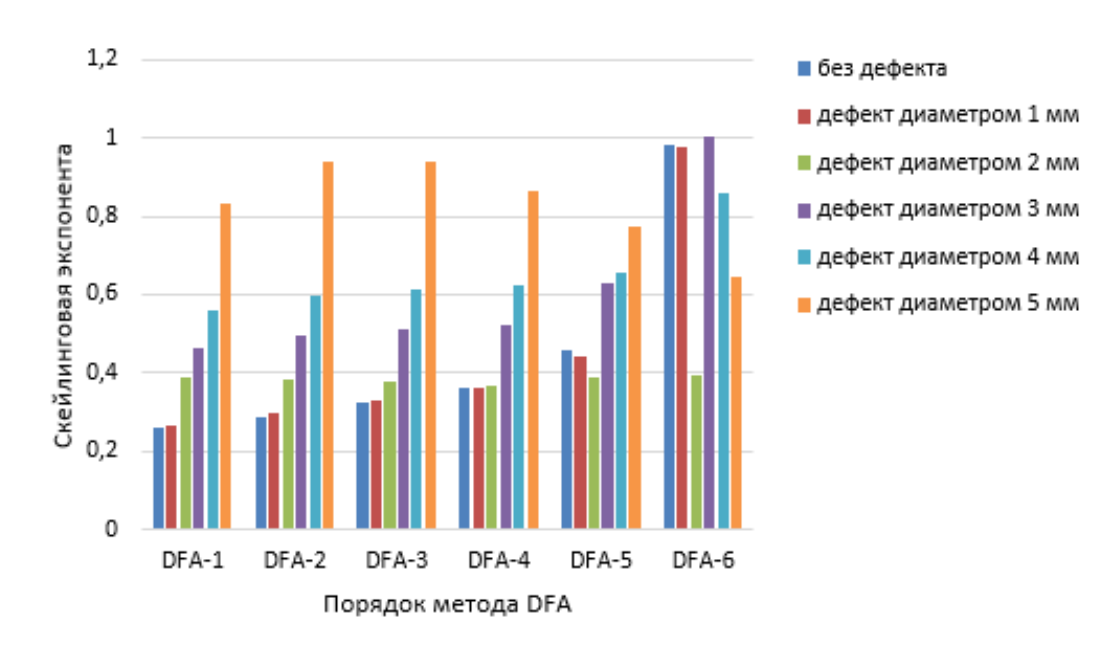


Рис. 2. Значения скейлинговой экспоненты акустических сигналов, полученных с применением методов DFA разного порядка.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10045, <https://rscf.ru/project/22-79-10045/>

### Источники

1. Павлов А.Н., Сосновцева О.В., Зиганшин А.Р. Мультифрактальный анализ хаотической динамики взаимодействующих систем // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2003 – № 11. – С. 39-54.
2. Shanshan Zhao, Yundi Jiang, Wenping He, Ying Mei, Xiaoqiang Xie, Shiquan Wan Detrended fluctuation analysis based on best-fit polynomial // Environmental science. – 2022. – №10. – С. 1-7.
3. Ayrat Zagretdinov, Shamil Ziganshin, Yuri Vankov, Eugenia Izmailova, Alexander Kondratiev. Determination of Pipeline Leaks Based on the Analysis the Hurst Exponent of Acoustic Signals // Water. – 2022. – № 14. – 3190.

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОРГАНИЗАЦИЮ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

К.В. Конижов

Науч. рук канд. тех. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Konizhov.kirill@mail.ru

Статья является обзорной в вопросе энергоснабжения городов России и ее влияние на возобновляемую энергетику. Вопрос энергетической безопасности в странах, особенно в городах, остается актуальным и сегодня в связи с нарастающей глобальной тенденцией к устойчивому развитию и чистой окружающей среде.

**Ключевые слова:** энергетика, энергосбережение, возобновляемая энергетика, система отопления, центральное отопление.

## FEATURES OF ENERGY SUPPLY TO RUSSIAN CITIES AND HOW IT AFFECTS RENEWABLE ENERGY

K.V. Konizhov

KSPEU, Kazan, Russia

Konizhov.kirill@mail.ru

The article is a review on the issue of energy supply of Russian cities and its impact on renewable energy. The issue of energy security in countries, especially in cities, remains relevant today due to the growing global trend towards sustainable development and a clean environment.

**Keywords:** energy, energy saving, renewable energy, heating system, central heating.

Энергоснабжение городов может определяться различными факторами. Для начала стоит обратить внимание на то, где тратится энергия.

В городах потребление энергии в основном затрачивается на [1]:

- водоснабжение;
- подача воздуха (отопление, кондиционирование);
- приготовление пищи;
- светильники, электроприборы;



- транспорт.

Существенная разница между российской городской системой энергоснабжения и европейской системой отопления заключается в том, что в России в основном применяются так называемые теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), одобренные к эксплуатации в 1920-х годах в СССР [2]. ТЭЦ оптимальны для России благодаря следующим особенностям:

- Холодный климат в стране (северная и полярная зона);
- Высокие тарифы при переходе на автономную систему;
- Крупные города расположены в зоне холодного климата;
- Большая площадь страны;
- Неравномерная плотность населения.

Однако ТЭЦ в России достаточно изношены, что требует их реконструкции.

В большинстве городов России, благодаря широкому распространению центрального отопления, ТЭЦ, а также магистрального газа, конечный потребитель (бытовой, производственный) получает готовую продукцию: горячую воду, отопление, электроэнергию. Многоквартирные дома, спроектированные и построенные в 20 веке в России с учетом центрального теплоснабжения, не предусматривают собственных котельных. В связи с этим переход на автономное теплоснабжение является достаточно дорогостоящим и трудоемким процессом [3].

Вышеперечисленные факторы наличия инфраструктуры для энергоснабжения городов накладывают ограничения на использование возобновляемых источников энергии в этих районах. Несмотря на это, есть возможность использовать возобновляемые источники энергии для строящихся районов и городов [4].

Ремонт всей системы отопления и переход на другой источник энергии является дорогостоящим процессом, который требует больших первоначальных инвестиций. В Европе с начала 21 века активно начался процесс перехода на возобновляемую энергетику, благодаря чему многие страны имеют готовую систему производства, передачи и использования энергии из возобновляемых источников, то есть инфраструктуру [5]. В РФ, наоборот, недостаточно внимания уделяется возобновляемым источникам. Была развита только гидроэнергетика: в 2015 году установленная мощность гидроэлектростанций (ГЭС) составила 20,4% от установленной мощности ЕЭС в России, а генерация составила 15,57% от общего объема. Однако если оценивать мощность в реальном выражении, то она остается

на одном и том же уровне последние пять лет. Можно сделать вывод, что текущий объем инвестиций в инфраструктуру для развития ВИЭ недостаточен [6]. Тип системы энергоснабжения, установленной в городе, будь то частная или центральная, а также наличие определенной инфраструктуры энергоснабжения в городе, оказывают ключевое влияние на выбор источника энергии.

### **Источники**

1. Кондратьев А. Е. Анализ эффективности внедрения индивидуальных тепловых пунктов в систему теплоснабжения / А. Е. Кондратьев, С. Р. Алимкулова // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции: электронный сборник, Кемерово, 19–21 декабря 2018 года / Под редакцией В.Г. Каширских, И.А. Лобур. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2018. – С. 142.1-142.2. – EDN YWOCFN.

2. Сергеева Д. В. Инфракрасная система отопления / Д. В. Сергеева, А. Е. Кондратьев // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СУМГАИТ, 12–13 ноября 2020 года. – СУМГАИТ: Сумгаитский государственный университет, 2020. – С. 284-287. – EDN GABWOQ.

3. Шарафисламова Э. А. Совместная работа теплового насоса с ветрогенератором малой мощности / Э. А. Шарафисламова, А. Е. Кондратьев // . – 2016. – № 2. – С. 256-258. – EDN YGGYGN.

4. Кондратьев А. Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFPHGG.

5. Мустафина Г. Р. Особенности конструкций реакторов для получения биотоплива / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СУМГАИТ, 12–13 ноября 2020 года. – СУМГАИТ: Сумгаитский государственный университет, 2020. – С. 277-280. – EDN JJVOBP.

6. Гилязова Г. Р. Особенности применения солнечных коллекторов для системы отопления / Г. Р. Гилязова, А. Е. Кондратьев // Научному

прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 25-27. – EDN  
TBANLT.

УДК 66.046:004.032.26

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

К.В. Коньжов

Науч.рук ст. преп. Т.О. Политова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Konizhov.kirill@mail.ru

Статья является обзорной в вопросе применения нейронных технологий при выборе технического решения для повышения эффективности.

**Ключевые слова:** эффективность, нейронные технологии, теплотехнологические установки, нейросетевые программы.

## APPLICATION OF NEURAL TECHNOLOGIES WHEN CHOOSING A TECHNICAL SOLUTION TO IMPROVE EFFICIENCY

K.V. Konizhov

KSPEU, Kazan, Russia

Konizhov.kirill@mail.ru

The article is a review on the use of neural technologies when choosing a technical solution to improve efficiency.

**Keywords:** efficiency, neural technologies, heat engineering installations, neural network programs.

Наиболее важное преимущество нейросетевых технологий перед классическими методами статистического анализа состоит в том, что они могут аппроксимировать любые сложные нелинейные зависимости произвольного и заранее известного вида [1].

Применение универсального нейросетевого подхода составляет общую основу решения задач повышения энергетической эффективности теплотехнологических установок (ТТУ) и систем с недостаточным информационным обеспечением. Вы можете использовать результаты, полученные из промышленных экспериментальных данных и сложных математических моделей для обучения нейронных сетей [2, 3].

При использовании нейросетевой технологии для повышения энергетической эффективности ТТУ и систем можно сделать следующие выводы:

При выборе типа задачи чаще всего приходится решать проблему прогноза.

При анализе результатов данные должны представляться в табличном виде или визуально отображаться на графиках.

На практике лучше использовать существующие нейросетевые программы, а не создавать собственные.

При решении практических задач лучше всего использовать тип нейросетей, построенных на многослойном персептроне.

При формировании обучающей выборки чаще всего данные ограничиваются.

### **Источники**

1. Гайдук А.Р. Системы автоматизированного управления. Примеры, анализ и синтез. Таганрог: – Изд-во ТРТУ, 2006. – 414 с

2. Горбунов В.А. Применение и анализ использования генетического алгоритма оптимизации для снижения расхода топлива на садовые печи / В.А. Горбунов // Повышение эффективности энергетического оборудования: материалы VII междунар. науч.- практ. конф.– СПб.: СППУ, 2012. – С. 745 – 752.

3. Андреев В.В. Исследование нейросетевой системы распознавания образов в среде Matlab / В.В. Андреев, Н.Н. Порфирьева, А.М. Прохоров // Вестник Чувашского университета. 2008. № 2. С. 113-120.

УДК 621.644.07

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

К.В. Кобызов

Науч. рук. ассистент О.Е. Бабиков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Konizhov.kirill@mail.ru

В данной статье проведен обзор отечественных и зарубежных источников литературы, касающихся вопроса производства экологически безопасных теплоизоляционных материалов. Вопросы энерго и ресурсосбережения, наряду с вопросами экологичности производств не теряют своей актуальности.

**Ключевые слова:** кокосовая шелуха, байпас, теплоизоляция, теплоизоляционные материалы, изоляционные плиты.

# ENVIRONMENTALLY FRIENDLY THERMAL INSULATION MATERIALS

K.V. Konizhov  
KSPEU, Kazan, Russia  
Konizhov.kirill@mail.ru

This article provides an overview of domestic and foreign literature sources related to the issue of the production of environmentally friendly thermal insulation materials. The issues of energy and resource conservation, along with the issues of environmental friendliness of production, do not lose their relevance.

**Keywords:** coconut husk, bypass, thermal insulation, thermal insulation materials, insulation boards.

Теплоизоляционные материалы изготавливаются, в основном, из стекловолокна, минеральной ваты или пенополиуретана. Эти материалы обладают низкой теплопроводностью, хорошей влагозащитой и огнестойкостью, но могут быть опасны для здоровья человека. Например, воздействие мелких частиц изоляции из стекловолокна и стекловаты может вызвать раздражение дыхательных путей или кожи. Кроме того, производство теплоизоляционных материалов, как правило, требует использования химических связующих, таких как формальдегид или фенольные смолы, которые токсичны для человека. Также стоит отметить, что традиционные теплоизоляционные материалы производятся не в каждой стране. Поэтому, некоторые исследователи считают экономически и экологически выгодным использование сельскохозяйственных и промышленных отходов для создания теплоизоляционных материалов. Это позволит решить ряд проблем, связанных с повторным использованием отходов производств, вместо их утилизации или сжигания. В данной работе предлагается использовать кокосовую шелуху и багассу в качестве теплоизоляционных материалов.

Кокосовая шелуха — это отходы производства кокосового волокна. Шелуха кокоса состоит на 30% из волокон и на 70% из сердцевины. И волокно, и сердцевина имеют чрезвычайно высокое содержание лигнина и фенола, и в исследовании В. Теуниссена было обнаружено, что лигнин кокосовой шелухи можно использовать в качестве связующего вещества при производстве картона [1].

Другим природным материалом, который может использоваться для теплоизоляционных целей, является багасса. Багасса — это побочный

продукт сахарного производства. В настоящее время считается одним из наиболее перспективных не древесных лигноцеллюлозных сырьевых материалов [2]. Большое количество этих отходов до сих пор остается неиспользованным или сжигается в развивающихся странах. Багасса богата целлюлозой, которая может действовать как связующее вещество [3]. Багасса имеет хороший потенциал для использования для производства теплоизоляционных плит, не содержащих связующих веществ.

В работе [4] для производства теплоизоляционных плит кокосовую шелуху предлагается сначала подвергать сушке в печи при  $80^{\circ}\text{C}$  до достижения влажности в 11-13 %. Багасса более пориста и легко впитывает влагу при хранении. Поэтому сушка багассы проводилась сначала на солнце в течение трех дней (до достижения влажности 10%), а затем в печи при  $80^{\circ}\text{C}$  до влажности 6-7%. Кокосовые волокна нарезали на части длиной 8-10 мм. Соотношение волокна и сердцевины из кокосовой шелухи составляло 80:20 по весу. Для производства теплоизоляционных материалов из багассы средняя длина крупных частиц составляла около 20-40 мм, а средняя длина мелких частиц составляла около 8-9 мм, а соотношение крупных частиц к мелким составляло 50:50 по массе.

Теплоизоляционные плиты без связующего вещества из кокосовой шелухи и багассы изготавливались методом горячего прессования под давлением 14,7 МПа. Для исследования влияния температуры прессования на физические свойства теплоизоляционных плит были использованы три температурных режима ( $180^{\circ}\text{C}$ ,  $200^{\circ}\text{C}$  и  $220^{\circ}\text{C}$ ) для кокосовой шелухи и три температурных режима ( $160^{\circ}\text{C}$ ,  $180^{\circ}\text{C}$  и  $200^{\circ}\text{C}$ ) для багассы. Для изучения влияния плотности на физические свойства теплоизоляционных плит были изготовлены тестовые образцы толщиной 25 мм при заданной плотности в 250, 350 и 450 кг/м<sup>3</sup>.

Эксперименты показали, что значения теплопроводности теплоизоляционных плит из кокосового волокна и багассы без связующих веществ плотностью 250–350 кг/м<sup>3</sup> находятся в диапазоне от 0,046 до 0,068 Вт/м·К. Теплопроводность теплоизоляционных плит из экологически чистых материалов оказалась близка к показателям традиционных изоляционных материалов (например, целлюлозного волокна (0,040-0,045 Вт/м·К, минеральной ваты (0,035-0,040 Вт/м·К). Результаты исследований показали, что теплоизоляционные плиты из багассы при плотности 350 кг/м<sup>3</sup> могут быть использованы в качестве строительных материалов для теплоизоляционных целей. Поскольку плиты изготавливаются из отходов и без каких-либо химических веществ

методом горячего прессования, они безопасны для окружающей среды и могут конкурировать с традиционными теплоизоляционными материалами по ряду свойств. Кроме того, процесс производства достаточно прост и не требует специального оборудования. Тем не менее, существует множество факторов, ограничивающих применение экологически чистых теплоизоляционных материалов, среди которых плохая влагостойкость, повышенная смачиваемость, относительно низкая долговечность и др.

### **Источники**

1. J.E.G. van Dam, M.J.A. van den Oever, W. Teunissen, E.R.P. Keijsers, A.G. Peralta, Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk, *Industrial Crops and Products* 19 (2004) 207–216.

2. S. Panyaekaw, S. Fotios. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings*, vol. 43(7), pp. 1732–1739, 2011.

3. K. Manohar, D. Ramlakhan, G. Kochhar, S. Haldar. Biodegradable fibrous thermal insulation. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 28 (1), pp. 45-47, 2006.

4. Panyaekaw S., & Fotios S. (2011). New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings*, 43(7), 1732–1739.

УДК 620.97

## **ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ СТОЧНОЙ ВОДЫ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ В ДУШЕ**

В.А. Куницкий<sup>1</sup>, С.В. Лукин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда

<sup>1</sup>globee@mail.ru, <sup>2</sup>s.v.luk@yandex.ru

В статье рассматривается ряд факторов, которые необходимо учитывать при разработке методики проектирования утилизационного теплообменного аппарата для горячей воды, образующейся в душе. Данные факторы влияют на выбор конфигурации утилизационного теплообменного аппарата для конкретных условий эксплуатации.

**Ключевые слова:** утилизация теплоты сточных вод, утилизация теплоты воды в душевой установке, сточная душевая вода, утилизационный теплообменный аппарат.

# FEATURES OF THE MODERNIZATION OF HOT WATER SUPPLY SYSTEMS BASED ON THE UTILIZATION OF WASTE WATER HEAT GENERATED IN THE SHOWER

V.A. Kunitskiy<sup>1</sup>, S.V. Lukin<sup>2</sup>

VoSU, Vologda, Russia

<sup>1</sup>globee@mail.ru, <sup>2</sup>s.v.luk@yandex.ru

The article is about a number of factors that must be taken into account during developing a methodology for designing a waste heat exchanger for hot water generated in the shower. These factors influence the selection of the configuration of the recovery heat exchanger for specific operating conditions.

**Keywords:** waste water heat recovery, shower water heat recovery, waste shower water, waste water heat exchanger.

В современной России теплота удаляемой горячей воды, образующейся в душевых установках, практически никак не используется. Существует идея модернизации системы горячего водоснабжения на основе использования теплообменного аппарата (ТОА), утилизирующего теплоту данной воды, с целью осуществления предварительного нагрева холодной воды, используемой в душе [1].

Использование утилизационного теплообменника совместно с конкретным водоразборным устройством позволит эффективно утилизировать теплоту горячей сточной воды в непосредственной близости к месту её последующего применения: практически отсутствуют тепловые потери при транспортировке теплоносителя и ожидании использования предварительно нагретой воды.

На данный момент выбрана конструкция ТОА, создана математическая модель его тепловой работы при нестационарном и стационарном режиме [2], создана физическая модель ТОА и на её основе проведено экспериментальное испытание.

Одним из следующих этапов работы является разработка методики подбора конфигурации ТОА для конкретных условий работы и исследование влияния от внедрения данного устройства в существующие сети ГВС.

Методика проектирования ТОА для конкретных условий эксплуатации должна учитывать особенности объекта, в сети ГВС которого будет интегрирована утилизационная установка. Так как в работе



рассматриваются реальные части энергетических систем, то перечислим факторы, требующие рассмотрения при интеграции теплообменника:

- Изменение гидравлического режима системы ГВС;
- Режим работы водоразборного устройства в течение расчетного периода (часа, суток, недели, месяца и т.д.);
- Стоимость единиц горячей и холодной воды для конкретного энергопотребляющего объекта;
- Загрязнение теплообменной поверхности;
- Физические возможности размещения утилизационного ТОА в непосредственной близости с водоразборным устройством.

Интеграция утилизационного устройства в существующие сети водоснабжения приведет к увеличению гидравлического сопротивления. Таким образом, методика подбора конфигурации устройства должна не только определять оптимальные характеристики с точки зрения эффективности утилизации тепловой энергии, но и учитывать возможности эксплуатируемого оборудования.

Наиболее эффективно ТОА работает при стационарном тепловом режиме. После длительного неиспользования душа распределение температуры в греющей и нагреваемой среде внутри ТОА становится одинаковым. В связи с этим после начала приема душа наблюдается стадия работы ТОА при нестационарном тепловом режиме [2]. Каждый конкретный объект следует подробно изучить с точки зрения режима использования перед интеграцией теплообменника, выявить характерные для него черты потребления горячей воды. Необходимо достичь ситуации, в которой характеристики ТОА выбраны рационально.

Стоимость единицы горячей и холодной воды в регионах страны разная, также могут использоваться разные источники тепловой энергии. Данный фактор необходимо учитывать при расчете экономического эффекта от энергосберегающего мероприятия.

Если рассматривать ситуацию с размещением ТОА в санузлах жилых многоквартирных зданий, то актуальным становится вопрос габаритов устройства. Требование компактности и эргономичности следует также учесть при разработке методики проектирования устройства.

Проблема загрязнения теплообменных поверхностей характерна для всего теплообменного оборудования. В исследуемом ТОА для анализа степени загрязнения поверхности теплообмена и своевременной очистки предусмотрена верхняя прозрачная и быстросъемная панель [1].

Существующий опыт исследователей вопроса использования нетрадиционных источников энергии и вторичных энергетических

ресурсов показывает, что особенности, которые следует учитывать при разработке методики проектирования подобных утилизационных устройств, часто влияют друг на друга [3]. По этой причине задача разработки подобной методики это не задача поиска верного решения, а задача поиска оптимального, рационального решения в каждом конкретном случае.

### **Источники**

1. Лукин С.В., Куницкий В.А. Разработка способа высокоэффективного горячего водоснабжения с помощью утилизации теплоты канализационных вод // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте: материалы XV международной научно-технической конференции (8 декабря 2020 г.). 2020. С. 145-148.

2. Куницкий В. А. Исследование нестационарных режимов работы утилизационного теплообменного устройства на основе математического моделирования / В. А. Куницкий, С. В. Лукин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14. № 4(56). – С. 69-79.

3. Ахметова И.Г., Лапин К.В. Исследование нестационарных процессов теплообмена в тепловых сетях централизованного теплоснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 3 (55). С. 13-26.

УДК 621.311

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ТУРБИНЫ К-300-240 КОСТРОМСКОЙ ГРЭС**

П.А. Кутраков

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Барочкин

ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново

kuttrakovp@gmail.com

В работе рассмотрен вариант реконструкции турбин К-300-240 Костромской ГРЭС. Замена корпусов ЦВД, ЦСД, ротор ЦВД с реактивным облопачиванием, замена блока регулирования, реконструкция системы регулирования, изменение системы парораспределения с заменой на регулирующие клапана.

**Ключевые слова:** паровая турбина, реконструкция, цилиндр высокого давления, реактивное облопачивание.

# RECONSTRUCTION OF TURBINE K-300-240 KOSTROMSKAY GRES

P.A. Kutrakov  
ISPEU, Ivanovo, Russia  
kutrakovp@gmail.com

The work considers the option of reconstruction of turbines k-300-240 of the Kostroma State District Power Plant. Replacement of HPC, LPC, HPC rotor with reactive blasting, replacement of control unit, reconstruction of control system, change of steam distribution system with replacement with control valves.

**Key words:** steam turbine, reconstruction, high pressure cylinder, reactive blasting.

Сегодня Костромская ГРЭС – одна из наиболее крупных и экономичных тепловых электростанций России, по праву являющаяся флагманом отечественной энергетики.

Цель модернизации – возобновление ресурса основных высокотемпературных узлов турбин, обновление оборудования с одновременным повышением технико-экономических показателей и продление срока эксплуатации, повышение надёжности и эксплуатационных характеристик отпусков тепловой и электрической энергии [1].

На турбине К-300-240 Костромской ГРЭС, ст. № 8 произведена модернизация проточных частей ЦВД и ЦСД направленная на увеличение номинальной мощности до 327,5 МВт при расходе свежего пара 990 т/ч. После модернизации турбина маркируется как К-330-23,5-8МР.

В соответствии с техническими условиями № 10540001 ТУ 01 модернизации произведены следующие конструктивные решения с установкой комплекта узлов и деталей:

- ЦВД заменен на новый, комплектно установлены новые: ротор ВД с реактивным облопачиванием, детали проточной части;
- ЦСД заменен на новый, комплектно установлены новые: ротор СД, детали проточной части и концевых уплотнений цилиндра;
- реконструкция системы регулирования турбины в электрогидравлическую и оснащение ПТК ЭЧСР;
- замена блока регулирования на новый, включающий в себя: золотники регулятора безопасности, механизм управления, два электромагнитных выключателя и золотники для их испытания;
- на регуляторе безопасности установлено зубчатое колесо для взаимодействия с датчиками частоты вращения;

- изменена система парораспределения ЦВД с переходом на четыре регулирующих клапана;
- комплектная замена блоков клапанов ЦСД с сервомоторами и установка ЭМП для управления сервомоторами РК и СБК;

Паровая турбина К-330-23,5-8МР - конденсационная, с промежуточным перегревом пара и тремя выхлопами

Номинальная мощность турбины 330 МВт обеспечивается при полностью включенной системе регенерации, без дополнительных отборов пара и следующих основных параметрах:

Таблица 1

Параметры при номинальной мощности

Параметр	Значение
- Давление острого пара, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	23,54 (240)
- Температура острого пара, °С	540
- Давление пара после ЦВД, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	4,05 (41,31)
- Температура пара после ЦВД, °С	286,8
- Давление пара перед ЦСД, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	3,67 (37,47)
- Температура пара перед ЦСД, °С	540
- Давление в конденсаторе, кПа (кгс/см <sup>2</sup> ) абс.	2,8 (0,029)
- Расход пара на турбину, кг/с (т/ч)	275 (990,0)

Выполнен расчет тепловой схемы турбины после реконструкции при выдаваемой мощности 327 МВт. Результаты расчета приведены на рисунке 1. Также выполнен расчет энергетических характеристик турбины [2]. В качестве примера на рисунке 2 приведена поправка к мощности в зависимости от давления свежего пара.

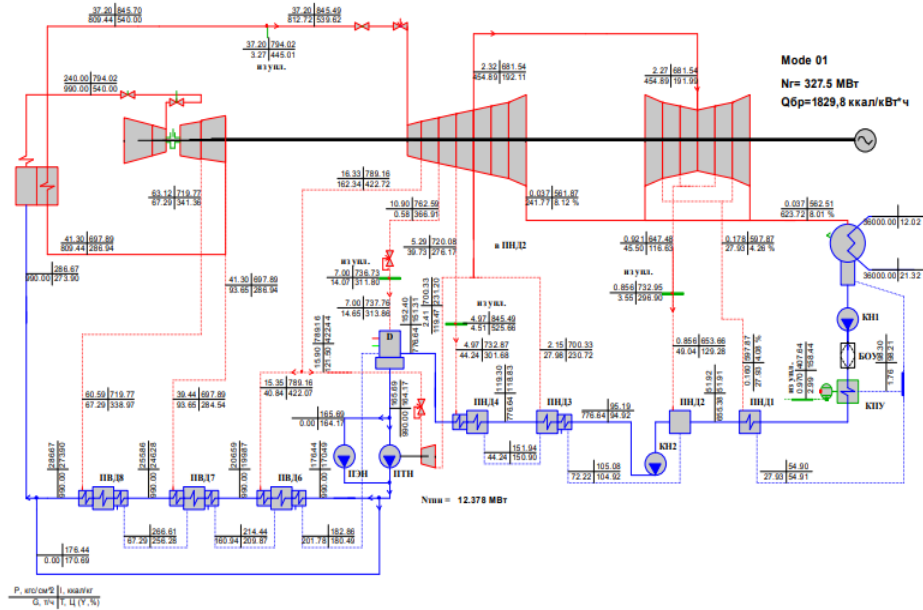


Рис. 1. Тепловая схема при N=327 МВт

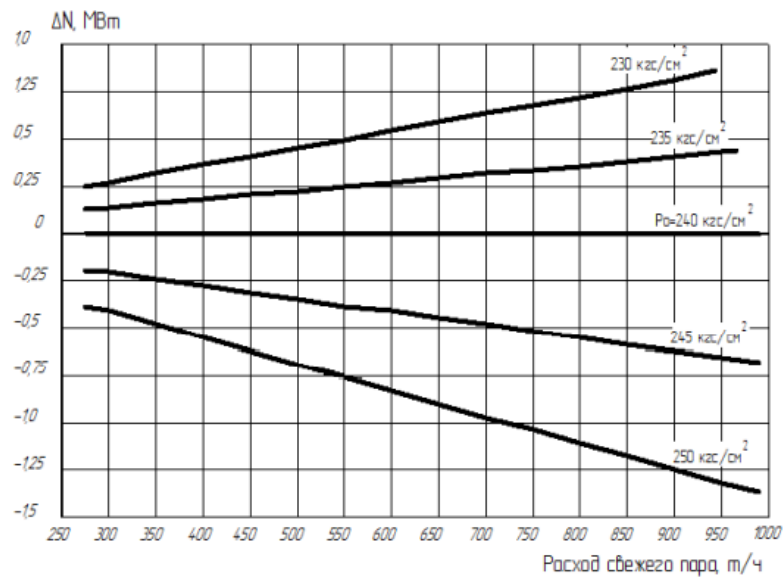


Рис. 2. Поправка к мощности в зависимости от давления свежего пара

### Источники

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции [Текст] / В.Я. Рыжкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
2. Методические указания по составлению и содержанию энергетических характеристик оборудования тепловых электростанций: РД 34.09.155-93.– М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС. – 2006.– 157 с.

## **ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ**

А.Р. Макарова

Науч. рук. д-р. техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

adelya.fazdalova@mail.ru

В статье проанализировано использование материалов на основе аэрогеля таких как Pyrogel, Cryogel.

**Ключевые слова:** аэрогель, отрицательные температуры, энергетика.

## **PERSPECTIVE OF APPLICATION OF AIRGEL-BASED MATERIALS FOR TECHNICAL THERMAL INSULATION**

A.R. Makarova

KSPEU, Kazan, Russia

adelya.fazdalova@mail.ru

The article analyzes the use of airgel-based materials such as Pyrogel, Cryogel.

**Keywords:** airgel, negative temperatures, energy.

Развитие энергетической отрасли приводит к необходимости разработки новых материалов с уникальными техническими характеристиками и эксплуатационными свойствами, которые способны уменьшить тепловые потери, ведущие к глобальному потеплению и загрязнению нашей планеты. Особый интерес вызывает аэрогель - наиболее перспективный и революционный изоляционный материал.

Благодаря современным технологиям серийного производства аэрогелевых материалов стало возможным изготовление теплоизоляции, применяемой в энергетической промышленности [1].

Аэрогель представляет собой твердое вещество, с низкой плотностью и с большим количеством равномерных пор, внутри которых сосредоточен воздух или газ в объеме до 99%. К главным преимуществам относится: 1) низкая теплопроводность; 2) низкий коэффициент преломления света; 3) низкая диэлектрическая проницаемость; 4) низкая скорость распространения звука. К недостаткам можно отнести его хрупкость и высокую стоимость.

Что касается твердой составляющей аэрогелей, то для ее

изготовления можно использовать различные материалы: диоксид кремния (силикагель), оксид олова и хрома [2].

В 1931 году американский химик Стивен Кистлер создал первый аэрогель, однако его применение было осложнено из-за его высокой хрупкости. Позже, в 1999 году был выявлен метод дешевого производства аэрогелей посредством покрытия влажного геля полиэфирным волокном, придающим ему прочность и гибкость. Полученный материал приобрел все теплоизолирующие свойства аэрогеля и его стоимость значительно снизилась.

К высокотемпературным аэрогелям относится Pyrogel. Коэффициент теплопроводности – 0,021 Вт/(м·град), диапазон рабочих температур составляет от -40 до 650°C. Pyrogel применяется в системах трубопроводов, нефтехимических и газовых производствах с высокой температурой, резервуарах с различными химическими и ядовитыми веществами. Достоинства данного материала: 1) легкость; 2) не пропускает влагу и конденсат, тем самым предотвращает коррозию; 3) огнеустойчив; 4) легко монтируется; 5) не токсичен; 6) хорошо подходит для теплоизоляции труб, паропроводов, сосудов и арматур; 7) прост в монтаже. Материал поставляется в рулонах, легко разрезается, скручивается и очищается [3].

К аэрогелям для сверхнизких температур относится Cryogel. Теплоизоляция представляет собой холст из стекловолокна с распределенными в нем частицами аэрогеля диоксида кремния и пароизоляционный слой алюминиевой фольги. Cryogel используется в качестве утеплителя для труб и техники, работающей с низкими температурами. Предотвращает образование наледи и конденсата. Диапазон рабочих температур: от - 265 до 125 °С. Такая теплоизоляция имеет ряд достоинств: 1) низкий коэффициент теплопроводности (0,014 Вт/(м·град); 2) паронепроницаемость; 3) огнестойкость; 4) легкость; 5) высокое термическое сопротивление; 6) отсутствие в составе опасных веществ; 7) легко режется и монтируется. Используется в низкотемпературной и криогенной технике [4].

Низкий коэффициент теплопроводности аэрогеля, а также низкая плотность дают возможность использовать его как теплоизоляцию в авиационной промышленности, ракетостроении, строительстве, машиностроении и многих других промышленности. Аэрогелевая теплоизоляция на сегодняшний день является перспективной и высокоэффективной для применения в сложных условиях. Например, в северных районах, где наиболее остро стоит вопрос об использовании эффективных теплоизоляционных материалов.

Таким образом, развитие производства аэрогелей приведет к

появлению более доступных материалов для использования в условиях низких отрицательных температур и высоких положительных температур для изоляции оборудования и в любых климатических условиях [5].

Работа выполнялась в рамках гос. задания №075-03-2021-175/3.

### **Источники**

1. Каддо М. Б. Перспективы применения аэрогеля в строительстве / М. Б. Каддо, М. В. Синотова // Наука и бизнес: пути развития. – 2018. – № 12(90). – С. 66-68. – EDN VWUKXJ.

2. Гапоненко С. О., Фазлиев Р. А., Калинина М. В. Метод повышения эффективности тепловой изоляции трубопроводов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. Т. 13. № 2(50). Казань, 2021. С. 142-147.

3. Пастушков П.П., Гутников С.И., Павленко Н.В., Столяров М.Д. Исследования теплопроводности рулонных материалов на основе аэрогеля // Строительные материалы. Москва, 2020. С. 39-43.

4. Рыбакова О.А., Лысенко А.В., Алмаметов В.Б. Прочная невесомость или аэрогель // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". Пенза, 2008. С. 103-104.

5. Шиндряев А.В., Кожевников Ю.Ю., Лебедев А.Е., Меньшутина Н.В. Исследование процесса получения теплоизоляционных материалов на основе аэрогелей // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31. № 6 (187). С. 130–132.

УДК 658.261:620.9

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ГАЗА**

Г.Р. Мустафина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[gulfia999@gmail.com](mailto:gulfia999@gmail.com)

Биогазовая установка является экономически и экологически эффективным способом производства биогаза, являющаяся альтернативой магистральному газу с возможностью снабжения тепла и электричества без перебоев в сети при поставке газа и электроэнергии. Кроме того, сброживаемая масса в установке является высокоэффективным органическим сырьем для почвы.

**Ключевые слова:** биогазовая установка, реактор, биогаз, брожения.



# TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF BIOLOGICALLY PURE GAS

G.R. Mustafina  
KSPEU, Kazan, Russia  
gulfia999@gmail.com

A biogas plant is an economically and environmentally efficient method of biogas production, which is an alternative to the main gas with the possibility of supplying heat and electricity without interruptions in the supply of gas and electricity. In addition, the fermentable mass in the plant is a highly efficient organic raw material for the soil.

**Keywords:** biogas plant, reactor, biogas, fermentation.

Многие населенные пункты России не газифицированы, так как снабжение отделенным пунктом экономически затратно. Наиболее эффективной альтернативой магистральному газопроводу выступает биогазовая установка. Кроме того, сырье, предназначенное для получения биогаза, всегда в достатке: навоз, пищевые отходы и т.д [1].

При использовании биогаза в качестве топлива для автотранспортных средств необходима дополнительная система очистки. Кроме заполнения техники, такой переработанный вид газа возможно продавать на энергетическом рынке, в данном случае установка окупится очень быстро. А побочный продукт после полной очистки, например, углекислый газ возможно использовать для производства сухого льда или других производственных элементов [2].

Согласно статистике, количество отходов в России составляет около 300 млн.т, из этого возможно получит 90 млрд. м<sup>3</sup> биологического газа в установке или 150 млрд кВт·ч электрической энергии. Неудачно использованные для обработки отходы в агропромышленном комплексе наносят ущерб почве в размере 450 млрд. рублей. Таким образом можно сделать вывод, что установка биогазовых технологий, предназначенные для обработки отходов и производства топлива для энергии в этом случае очень эффективна.

Использование биогазовых установок решает следующие проблемы сельского хозяйства [3]:

- хранение и обработка отходов;
- энергообеспечение отдаленной местности;
- повышение плодородия почвы.

Для популяризации установки необходимо следующее:

- невысокая стоимость технологии производства биогаза;

- полнота обработки органической массы в наиболее ценный продукт;

- простота обслуживаемая и надежность в ее работе;

- желание в энергонезависимости;

- наличие покупателей «зеленой энергии».

Затраты на биогазовую установку минимальны, если исключить закупку специально дорогостоящего оборудования, предназначенного для дополнительной очистки газа. Но при снабжении местности и продаже биогаза на энергетическом рынке очистка обязательна [4].

Выгодны такие установки:

- птицефабриками, фермам, растениеводческим хозяйствам;

- заводам;

- тепличным хозяйствам;

- коммунальным и очистным предприятиям.

Производстве биогаза отходы полностью идут в дело, в результате не только улучшается санитарное состояние территории

### **Источники**

1. Мустафина Г. Р. Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов Третьей Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 09 июня 2020 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2020. – С. 88-90. – EDN NYXDPA.

2. Мустафина Г. Р. Особенности применения биогазовой установки на птицефабрике / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 38-40. – EDN FROXKA.

3. Шакурова Р. З. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов / Р. З. Шакурова, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 6. – С. 188-201. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-6-188-201. – EDN QRCFCH.

4. Кондратьев А. Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI

Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFRHGG.

УДК 658.261:620.9

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗА В РОССИИ**

Г.Р. Мустафина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gulfia999@gmail.com

Перспективы развития биогаза на сегодняшний день очень велики. Это обосновано тем, что в отличие от других видов альтернативных источников энергии данный вид топлива является самым простым в получении. Объем получаемого топлива не зависит от погодных условий, времени суток и скорости ветра.

**Ключевые слова:** биогазовая установка, реактор, биогаз, брожения.

## **TECHNOLOGY OF BIOGAS PRODUCTION AND APPLICATION IN RUSSIA**

G.R. Mustafina

KSPEU, Kazan, Russia

gulfia999@gmail.com

The prospects for the development of biogas today are very high. This is justified by the fact that, unlike other types of alternative energy sources, this type of fuel is the easiest to obtain. The amount of fuel received does not depend on weather conditions, time of day and wind speed.

**Keywords:** biogas plant, reactor, biogas, fermentation.

Получение биологически чистого топлива зависит во многом от температуры нагрева и герметичности реактора. Само тепло, необходимое для производства, отдается с купола или газгольдеров биогазовой установки. Кроме получаемой энергии, в установке возможно получить конечный продукт в виде высокоэффективного удобрения. Для агропромышленного комплекса данный вариант наиболее подходящий, так как продукт, получаемый на выходе, обрабатывается, проходит очистку, удаляется от нежелательных для почвы элементов, что благоприятно

влияет на растительность [1].

Элементы, необходимые для производства энергии, самые простые. К ним относятся отходы крупно-рогатого скота, птицефабрики, других животноводческих фабрик, предприятий пищевой промышленности, например сахарный или свекольный комбинат, и.т.д. То есть, данный вид органики в любом случае необходимо утилизировать, а для выполнения этих действий необходимы большие денежные средства. Решением проблемы является технология биогазовой установки, так как все перечисленное является главным элементом в цепочке производства.

Сам процесс довольно прост. Для начала отходы производства поступают в ёмкость, далее производится измельчение и транспортировка сырья при помощи насосов в переходной резервуар, то есть кислототенк, где осуществляется дополнительный нагрев [2].

После, полностью подготовленное, сырьё направляется в основной биореактор. Технически который должен быть герметичен, прочным и кислотостойким.

Сырьё, находящееся в реакторе, должно постоянно нагреваться при помощи труб, расположенных на стенках, и перемешиваться при помощи специальных мешалок. Наиболее оптимальные температурный режим составляет +400С.

При использовании газа в коммерческих целях, необходимо установить газгольдер, предназначенный для сбора полученного газа. Он может быть смонтирован в одном корпусе, или быть отдельно стоящим.

Далее, биогаз под создаваемым давлением, направляется в систему очистки, только после чего он может уже использоваться для производства тепла и электричества [3].

Биологические удобрения, получаемые на выходе, при помощи сепарации разделяются на твёрдые и жидкие, после чего используются в агропромышленном комплексе. Кроме того, данный вид продукта возможно продавать [4].

Рассмотрим полученные результаты от использования биогазовой установки.

Экологическая – снижаются выбросы вредных веществ в атмосферу.

Энергетическая – имея доступное сырьё по минимальным ценам, а иногда и без таковой (бесплатно), в результате потребитель получает различные виды энергии и топлива с низкой себестоимостью.

Экономическая – монтаж биогазовых установок позволяет избежать строительства очистных сооружений и заградительных устройств.

## Источники

1. Мустафина Г. Р. Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов Третьей Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 09 июня 2020 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2020. – С. 88-90. – EDN NYXDPA.

2. Мустафина Г. Р. Особенности применения биогазовой установки на птицефабрике / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 38-40. – EDN FROXKA.

3. Шакурова Р. З. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов / Р. З. Шакурова, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 6. – С. 188-201. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-6-188-201. – EDN QRCFCH.

4. Кондратьев А. Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFPHGG.

УДК 620.9

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Г.Р. Мустафина

Науч.рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gulfia999@gmail.com

Возможности биогаза на сегодняшний день очень велики, с помощью данного вида топлива возможно обеспечить энергией промышленные производства, фермы, скотоводческих предприятия, сельских жителей. Окупаемость биогазовой установки составляет от 7 до 9 лет, а при продаже произведенной энергии или очищенного биогаза возможно сократить окупаемость до 4х лет.

**Ключевые слова:** биогаз, брожение, метан, реактор.

# PROSPECTS FOR THE PRODUCTION AND APPLICATION OF BIOGAS ENERGY

G.R. Mustafina  
KSPEU, Kazan, Russia  
gulfia999@gmail.com

The possibilities of biogas today are very large, with the help of this type of fuel it is possible to provide energy to industrial production, farms, cattle breeding enterprises, rural residents. The payback period of a biogas plant is from 7 to 9 years, and when selling the produced energy or purified biogas, it is possible to reduce the payback period to 4 years.

**Keywords:** biogas, fermentation, methane, reactor.

Наиболее оптимальным методом вариантом борьбы с глобальным потеплением является производство биогаза. Защита окружающей среды обеспечивается тем, что выделяющийся метан попадает в изолированную от атмосферы емкость. Производство биологически чистого газа происходит при температуре 0-70 С. В связи с тем, что в странах с жаркими климатическим условиями постоянно поддерживается данный диапазон температур, не требуется отдельно стоящей установки, достаточно лишь организовать специальную яму с колпаком, в которую высвобождаются органические отходы и навоз, с емкостью для сбора и накопления биологически чистого газа. Среднесуточное значение выработки газа в таких установках составляет от 0,15 до 0,3 кубометров на 1м<sup>3</sup> биологического реактора [1].

Для более холодных климатических условий производство биогаза осуществляется иным способом. Сырье после полного перемешивания и измельчения нагревается при высокой температуре (до 70 градусов) не менее часа, для того, чтобы уничтожить вредоносные бактерии. После чего необходимо произвести охлаждение до 38-40 град. Процесс получения биологически чистого газа довольно долгий (до месяца). Температура нагрева сырья зависит от выбора режима: мезофильный (с температурой нагрева от 25 до 38 градусов) и термофильный (с температурой нагрева от 45 до 60 градусов). Для оптимального процесса брожения добавляют катализаторы (целлюлозу и глюкозу) и производят постоянный процесс перемешивания органического сырья для исключения образования слоя в верхней части реактора. В процессе работы биогаз вырабатывает собственное давление, с помощью которого перемещается через газовый штуцер и конденсатор в газгольдер, используемый для производства

энергии в виде тепла и электричества [2].

Биогазовая установка для собственной работы потребляет от 10 до 25% вырабатываемого газа. Эта энергия используется для нагрева и перемешивания. Оставшаяся сброженная масса после производства работ через штуцер удаляется в отстойник. Данная масса используется в качестве удобрения высшего качества.

Рассмотрим виды биореакторов:

- без подогрева и перемешивания органического сырья;
- без подогрева, но с перемешиванием органического сырья;
- с подогревом и перемешиванием органического сырья;
- с подогревом и перемешиванием органического сырья, а также со средствами контроля и управления [3].

Биоустановки также подразделяются по техническому исполнению:

- аккумулятивная схема. В реакторах, которых происходит сбразивание органической массы происходит одновременно и хранение и сбразивание. Органическое сырье осуществляется с постоянной подачей до его полного заполнения. Такие системы используются редко, так как требуют больших объемов.

- периодическая схема. Производится разовая загрузка органического сырья, затравочного материала и выгрузка сброженной массы. Процесс работы в этой схемы наиболее трудоемкий. При этом выход газа не равномерен, с потребностью для работы 2х реакторов, необходимых для отдельного накопления и хранения.

- непрерывная схема. Исходное сырье непрерывно загружается в реактор с одновременной отгрузкой того же количества сброженного осадка [4].

Для поддержания оптимального выхода газа необходимо следовать нескольким требованиям. Минимизация подсосов воздуха; обеспечение долговременной работоспособности системы при механических и статических нагрузках; обеспечение возможности сбора газа при длительной эксплуатации полигона или свалки; увязка производительности системы дегазации с интенсивностью образования газа; возможность расширения системы.

### **Источники**

1. Мустафина Г. Р. Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов Третьей Международной научно-

практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 09 июня 2020 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2020. – С. 88-90. – EDN NYXDPA.

2. Мустафина Г. Р. Особенности применения биогазовой установки на птицефабрике / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 38-40. – EDN FROХКА.

3. Шакурова Р. З. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов / Р. З. Шакурова, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 6. – С. 188-201. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-6-188-201. – EDN QRCFCH.

4. Кондратьев А. Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFPHGG.

УДК 66-7

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КРИОБЛАСТИНГА ДЛЯ ОЧИСТКИ ТУРБИН**

Р.О. Перфилов

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Lal.1967@inbox.ru

Целью работы является изучение метода очистки турбин методом криогенного бластинга, определение преимуществ и недостатков других методов.

**Ключевые слова:** сухой лед, криогенный бластинг, пескоструйная обработка.



# APPLICATION OF CRYOBLASTING TECHNOLOGY FOR TURBINE CLEANING

R.O. Perfilov  
KSPEU, Kazan, Russia  
Lal.1967@inbox.ru

The purpose of the work is to study the method of cleaning turbines by cryogenic blasting, to determine the advantages and disadvantages of other methods.

**Keywords:** dry ice, cryogenic blasting, sandblasting.

Вследствие нагара и отложений внутренних камер турбины и лопастей или лопаток ротора, на них образуется излишняя шероховатость. Она мешает расчетному движению воздушных потоков [1]. Из-за этого падает производительность агрегата и сильно ухудшает температурный режим эксплуатации. Чтобы этого не допустить и предотвратить возможность аварийного перегрева, техническим регламентом предусмотрена периодическая очистка турбин одним из рекомендованных способов:

- 1) очистка деталей абразивными пастами;
- 2) использованием жидкой очищающей среды под давлением;
- 3) пескоструйной обработки всех подлежащих чистке деталей;
- 4) очистки вращающегося ротора турбины впрыском специальных очистителей [2];

Все способы очистки газовых турбин не лишены недостатков. Наиболее существенным «минусом» является необходимость хотя бы частичной разборки агрегата, а также невозможность полностью вывести остатки абразива и твердые частицы грязи, если не промывать всю систему целиком с использованием специальных жидких средств [3]. Через какое-то время с появлением технологии криогенного бластинга появилась возможность упростить и удешевить процедуру очистки турбин [4].

Метод криогенного бластинга похож на пескоструйную обработку, но основывается на обработке очищаемой поверхности гранулами сухого льда. Процесс происходит под давлением от 7 до 14 бар [5]. Используемые гранулы подаются на поверхность при помощи сжатого воздуха, в процессе гранулы ускоряются до скорости близкой к скорости звука. При соударении с поверхностью, гранулы сильно ее охлаждают (температура гранул около -79 градусов). Слой загрязнения становится не только хрупким и ломким, но и понижается его адгезия к поверхности. Меняя

свое агрегатное состояние из твердого в газообразное, гранулы сухого льда расширяются в 600-800 раз. Сам сухой лед может быть выделен из продуктов сгорания при сжигании топлива в энергетических установках, затем охлажден и преобразован в сухой лед [6].

Все это приводит к тому, что слой загрязнения сжимается и отваливается от базового материала, а затем смывается струей гранул. Сам сухой лед испаряется естественным образом [7].

Одним из преимуществ данного метода является возможность не разбирать конструкцию. Это позволит сэкономить предприятию определенные ресурсы. Еще одним «плюсом» данного метода можно считать полную очистку турбины, не оставляя при этом твердых частиц. Это благоприятно сказывается на сроке службы турбины. В отличие от других способов очистки сухим льдом не деформирует базовую поверхность, удаляя только загрязнения [8].

На данный момент технология криобластинга только распространяется и в ближайшее время немецкая компания Lufthansa Technic, моющая авиадвигатели струей воды под напором, планирует опробовать данный способ, вместо воды будет использован сухой лед. Он не вредит механизмам даже при температуре ниже  $-4^{\circ}\text{C}$ . Предполагается, что частицы льда будут сбивать грязь с механизма, а затем выдуваться мощной струей воздуха. Очистка двигателя по плану должна занять не более 40 минут [9].

### **Источники**

1. Очистка промышленного оборудования. Эффективный метод очистки оборудования, деталей и поверхностей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dr-sauber.ru/> (дата обращения: 10.11.2022).

2. Экологичность метода струйной чистки сухим льдом [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.karcher.ru/ru/> (дата обращения: 10.11.2022).

3. ТЕХНОХИМ. Трубопроводная арматура [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://texnoxim.ru/> (дата обращения: 10.11.22).

4. Исследование применения натуральных испытаний в целях повышения эффективности генерирующего оборудования энергетических систем [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.energyret.ru/> (дата обращения: 11.11.22).

5. Что такое криобластинг и как его делают? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://stroy-podskazka.ru/> (дата обращения: 11.11.12).

6. Ольховский Г.Г Перспективные газотурбинные и парогазовые установки для энергетики / Г.Г Ольховский // Теплоэнергетика. 2013.

7. Бластинг: Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке / Д.Ю. Козлов.– Екатеринбург: ООО «ИД «Оригами», 2007. – 216 с.

8. Утилизация и вторичное использование отработанных смазочных материалов транспортных и транспортно-технологических машин / Прохоров В. Ю. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2017. №6(38). т. 2, – С. 235-238.

9. «Новые наукоемкие технологии в технике», под редакцией К.С. Касаева, т.11, стр.99, ЗАО «ЭНЦИТЕХ», Москва, 1998 г.

УДК 621.3.061

## ПОДКЛЮЧЕНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ТЕРМОПАР К-ТИПА К ARDUINO UNO

Р.А. Пономарев<sup>1</sup>, Ю.В. Ваньков<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>romanponomarevich@mail.ru, <sup>2</sup>yvankov@mail.ru

В статье предложен способ последовательного подключения нескольких термопар К-типа к Плате Arduino UNO, расписан принцип работы передачи данных через модуль MAX6675, пояснен способ передачи данных с Arduino в Microsoft Excel .

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, Arduino, термопара, температура.

## CONNECTING MULTIPLE K-TYPE THERMOCOUPLES TO ARDUINO UNO

<sup>1</sup>R.A. Ponomarev, <sup>2</sup>Yu.V. Vankov

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>romanponomarevich@mail.ru, <sup>2</sup>yvankov@mail.ru

The article proposes a way to serially connect several K-type thermocouples to the Arduino UNO Board, describes the principle of data transfer through the MAX6675 module, explains how to transfer data from Arduino to Microsoft Excel.

**Keywords:** heater, experimental installation, underfloor heating, thermal insulation.

Термопара (термоэлектрический преобразователь) — устройство, которое состоит из двух проводящих элементов разных материалов, соединены они на одном конце и формируют часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения. Применяется

в промышленности, научных исследованиях, медицине и системах автоматизации, в основном для измерения и регулирования температуры [1].

Для подключения термопары к плате Arduino UNO существует модуль MAX6675 (рис.1), который оцифровывает данные с термопары и передает их на плату [2].

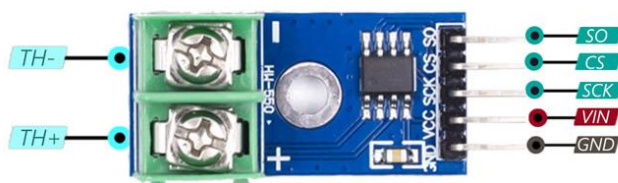


Рис. 1. Модуль MAX6675

Модуль имеет 5 соединительных контактов:

GND – (-), питание модуля;

VCC – (+), питание модуля;

SCK – тактовые импульсы;

CS – вывод интерфейс SPI (ведущий передает);

SO – вывод интерфейс SPI;(ведущий принимает);

Если GND и VCC отвечают за питание модуля, то SCK, CS, SO отвечают за передачу данных.

Для экономии пинов на плате Arduino, можно подключить последовательным соединением контакты SCK и SO используя макетную плату и перемычки (рис. 2). Выход CS будет определяющим для каждой термопары, потому что для каждого CS входа должен быть свой пин.

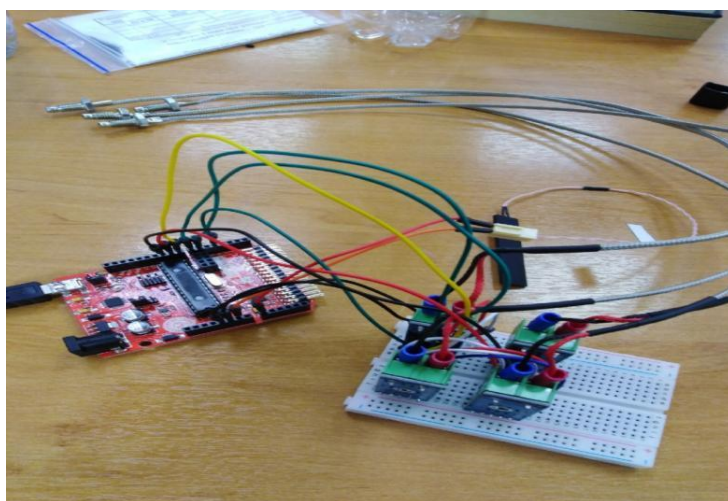


Рис. 2. Общий вид полученного измерительного прибора

Так, принцип Arduino основывается на последовательном опрашивании датчиков, поэтому сперва нужно обозначить каждую термопару и прописать, какие входы присоединены (термопары будут различаться только входящим CS). Далее, для правильной работы термопар необходимо, в программном обеспечении платы, прописать последовательное опрашивание модулей с определенной частотой [3,4], Так как считывание сигнала на данной плате составляет 10000 раз в секунду, то показатели температуры будут изображаться одновременно. Для лабораторных исследований интервал опрашивания не рекомендуется ставить меньше 10 секунд, анализ такого количества полученных данных будет очень трудоемким процессом.

Для удобной работы с показателями четырех термопар, построением температурных графиков, можно подключить передачу данных в Microsoft Excel, с помощью макроса PLX-DAQ (Рис.3) [5].

Создание прибора было проведено на базе МНИЛ «УНПЭ» КГЭУ.

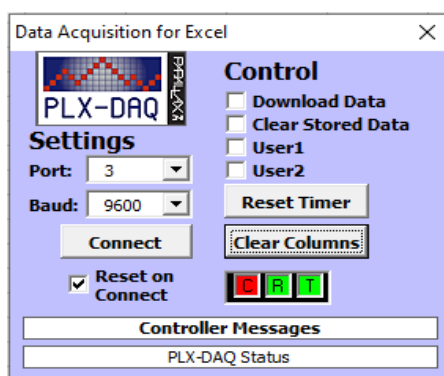


Рис. 3. Диалоговое окно PLX-DAQ

### Источники

1. Попок Н. Н., Гвоздь Г. И. Изготовление и тарирование термопары: методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» для студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий». – 2022.

2. Nalavade S. P. et al. Development of 12 Channel Temperature Acquisition System for Heat Exchanger Using MAX6675 and Arduino Interface //Innovative Design, Analysis and Development Practices in Aerospace and Automotive Engineering (I-DAD 2018). – Springer, Singapore, 2019. – С. 119-125.

3. Хузин Р. И. Применение платформы «Ардуино» для реализации модуля «электротехнические работы» в рамках преподавания технологии

//Образовательная робототехника в научно-техническом творчестве школьников и студенческой молодёжи: опыт, проблемы, перспективы. – 2019. – С. 125-127.

4. Рудаков Д. А. Применение Arduino в проектной деятельности обучающихся //Современное технологическое образование. Сборник статей, докладов и материалов XXVI Международной научно-практической конференции, 23 и 24 ноября 2020 года, г. Москва / Под ред. Ю.Л. Хотунцева и ВК Балтяна–М: МПГУ-МГТУ им. НЭ Баумана, 2020–290 с. – 2020. – С. 160.

5. Rao S., Shivakumar M. PLX-DAQ-based wireless battery monitoring system for obstacle avoidance robot // Control Instrumentation Systems. – Springer, Singapore, 2020. – С. 133-140.

УДК 667.6

## **СОЗДАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МИКРОСФЕР**

Р.А. Пономарев

Науч. рук. д-р. техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
romanponomarevich@mail.ru

В статье описано создание теплоизоляционной краски на основе микросфер, в качестве связующего элемента были использованы акриловая и алкидная краска. Было сделано несколько образцов с разным процентным содержанием микросфер.

**Ключевые слова:** керамические микросферы, теплоизоляция, эксперимент, энергоэффективность.

## **CREATION OF A HEAT-INSULATING MATERIAL BASED ON CERAMIC MICROSPHERES**

R.A. Ponomarev

KSPEU, Kazan, Russia  
romanponomarevich@mail.ru

The article describes the creation of heat-insulating paint based on microspheres, acrylic and alkyd paint were used as a binder. Several samples were made with different percentages of microspheres.

**Keywords:** ceramic microspheres, thermal insulation, experiment, energy efficiency.

Теплоизоляционная краска представляет собой новаторское, лакокрасящее вещество на базе композита из полимера, содержащего пустотелые керамические сферы. Теплоизолирующие составы заслуживают все большую известность в следствии своим научно-техническим особенностям. Они не только являются красящим веществом, но и позволяют дополнительно утеплить окрашиваемый данной краской материал [1,2].

Сами керамические серы получают из побочного продукта при сгорании угольной пыли на энергетических и металлургических предприятиях, и если найти ей широкое применение, получится безотходное производство.

В качестве основы были взяты два вида краски: акриловая и алкидная, имеющие разное время высыхания. Также были приобретены керамические микросферы размером 0,03-0,12 мм. Для более подробных показаний было сделано по 3 образца с каждой краской, имеющих различие в процентном соотношении (рис.1, 2).

Первым делом в подготовленные емкости добавляем определенное количество микросфер и ждем несколько минут чтобы микросферы просохли. Далее наливаем краску и непрерывно размешиваем 5-7 минут для равномерного распределения микросфер в краске. Общая масса теплоизоляционной краски каждого образца равна 24 грамма, столько краски затрачивается на 1 слой теплоизоляции, поэтому для каждого слоя необходимо готовить новую смесь [3].

Образцы краски наносились ровным слоем на металлические пластины размером 10x10 см и оставались сохнуть в хорошо проветриваемом помещении. Для акриловой краски время высыхания составляет 1 час, для алкидной краски время высыхания равно 12 часов. При изготовлении теплоизоляционной краски можно сделать вывод, что алкидная краска, являясь более жидкой по консистенции, является более лучшей основой чем акриловая [4,5].

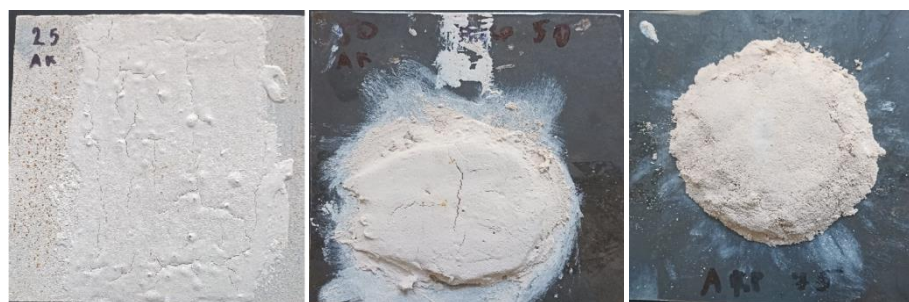


Рис. 1. Образцы теплоизоляционной краски с акриловой основой и добавлением 25, 50, 75% микросфер





Рис. 2. Образцы теплоизоляционной краски с алкидной основой и добавлением 25, 50, 75% микросфер

Показатели теплотворных характеристик данных образцов позволяют сделать несколько выводов:

- при добавлении слоев показатели теплопроводности практически не меняются;
- самым результативным вариантом показал себя образец с количеством 50% микросфер, данный материал получился хорошей консистенции, хорошо схватывается с поверхностью и обладает неплохими теплотворными характеристиками;
- при добавлении слишком большого количества микросфер в соотношении с краской материал перестает обладать вязкостью и становится похож на влажную мелкую горную породу, его теплотворные характеристики становятся хуже из-за наличия между микросферами воздушных промежутков;
- разница между акриловой и алкидной красками проявляется только при изготовлении образцов, из-за более жидкого состояния второго вида раствор получается более вязкий. В теории с ней можно применять большее количество микросфер. В теплотворных характеристиках между связующими элементами нет никакой разницы.

### Источники

1. Павлов М. В., Карпов Д. Ф., Березина В. П. Современные теплоизоляционные материалы для повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций зданий и энергоэффективности инженерных систем // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. – 2020. – №. 1. – С. 81-87.
2. Павлов М. В., Карпов Д. Ф., Березина В. П. Инновационные теплоизоляционные материалы для энергосбережения и повышения энергетической эффективности объектов капитального строительства //



Проблемы экономического роста и устойчивого развития территорий. – 2020. – С. 224.

3. Pavlov M. et al. Assessment of energy efficiency of application heat-insulating paint for the needs of district heat supply systems // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – Т. 178. – 01004.

4. Нурлыбаева А. Н. и др. Исследование свойств синтезированных акриловых красок // Вестник Казахстано-Британского технического университета. – 2021. – Т. 18. – №. 1. – С. 57-61.

5. Зверева Э. Р. и др. Комплексный метод утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – №. 2 (42). – С. 15-26.

УДК 620.169.2

## **ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА ПРИ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ВЫГОРАНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА**

Р.А. Пономарев<sup>1</sup>, Э.Р. Базукова<sup>2</sup>  
Науч. рук. д-р. техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>romanponomarevich@mail.ru, <sup>2</sup>ell17@mail.ru.

В статье представлены результаты экспериментов с базальтволоконной теплоизоляцией при разной степени выгорания связующего вещества.

**Ключевые слова:** нагреватель, теплоизоляция, теплопроводность, выгорание, тепловой поток.

## **MEASURING CHARACTERISTICS OF THERMAL INSULATION FROM BASALT FIBER AT DIFFERENT DEGREES OF BINDER BURNOUT**

R.A. Ponomarev<sup>1</sup>, E.R. Bazukova<sup>2</sup>  
KSPEU, Kazan, Russia  
<sup>1</sup>romanponomarevich@mail.ru, <sup>2</sup>ell17@mail.ru.

The article presents the results of experiments with basalt fiber thermal insulation at different degrees of burnout of the binder.

**Keywords:** heater, thermal insulation, thermal conductivity, burnout, heat flow.

При изготовлении теплоизоляционного материала, используются различные связующие вещества на основе феноловых смол. При длительном воздействии высоких температур на теплоизоляционный материал происходит выгорание связующего вещества (см. рисунок). Целью эксперимента было узнать численную зависимость между выгоранием теплоизоляции и его плотностью теплового потока на поверхности при разных давлениях.

Равномерное соприкосновение датчиков к образцу было осуществлено с помощью устройства для измерения плотности теплового потока (патент №204511).



Теплоизоляционные цилиндры BOS плотность 100 кг/м<sup>3</sup> (слева направо): новый образец; после 12 часов при температуре 250 °С (степень конверсии 0,2); после 12 часов при температуре 650 °С (связующее полностью выгорело)

Таблица 1

Значения поверхностной плотности теплового потока для теплоизоляционных цилиндров

Время, мин	при выгорании 20% связующего ( $\alpha=0,2$ ), Вт/м <sup>2</sup>								
	Образец 1			Образец 2			Образец 3		
	Давление в пневмокамере			Давление в пневмокамере			Давление в пневмокамере		
	0	5,3 кПа	9,3 кПа	0	5,3 кПа	9,3 кПа	0	5,3 кПа	9,3 кПа
1	269	275	285	262	278	290	264	276	284
2	269	273	287	264	279	289	263	277	285
3	270	274	288	264	280	289	262	276	284
4	270	276	287	264	278	290	263	275	284

Время, мин	при выгорании 60% связующего ( $\alpha=0,6$ )								
	Образец 1			Образец 2			Образец 3		
	Давление в пневмокамере			Давление в пневмокамере			Давление в пневмокамере		
	0	5,3 кПа	9,3 кПа	0	5,3 кПа	9,3 кПа	0	5,3 кПа	9,3 кПа
1	277	286	296	261	280	297	225	262	286
2	277	286	296	262	278	295	232	262	286
3	276	286	296	263	279	298	235	261	287
4	276	285	295	262	281	297	238	262	287
Время, мин	при полностью выгоревшем связующем								
	Образец 1			Образец 2			Образец 3		
	Давление в пневмокамере			Давление в пневмокамере			Давление в пневмокамере		
	0	5,3 кПа	9,3 кПа	0	5,3 кПа	9,3 кПа	0	5,3 кПа	9,3 кПа
1	271	320	349	274	325	355	276	360	403
2	271	319	350	273	327	356	279	361	406
3	269	318	348	274	327	357	279	363	406
4	270	319	348	275	324	356	278	360	402

Установка состоит из цилиндрического нагревателя патронного типа, который подключен, через ЛАТР и терморегулятор, к сети [2]. Для измерения плотности теплового потока на поверхность исследуемого теплоизоляционного материала устанавливались высокотемпературные датчики теплового потока (ДТП) со следующими характеристиками: размер – 52 10 мм; толщина – 2 мм; диапазон измерения 10 – 1000 Вт/м<sup>2</sup>; постоянная времени не более 10 с; коэффициент эффективной теплопроводности – 0,5 Вт/(м·К); толщина – 2 мм [1].

Из полученных результатов видно, что при увеличении сжимающей нагрузки на теплоизоляционные цилиндры величина поверхностной плотности теплового потока увеличивается в среднем на следующие значения:

- для образцов при выгорании 20% связующего – на 4%, при давлении в пневмокамере 5,3 кПа; на 8%, при давлении в пневмокамере 9,3 кПа;
- для образцов при выгорании 60% связующего – на 7%, при давлении в пневмокамере 5,3 кПа; на 14%, при давлении в пневмокамере 9,3 кПа;
- для образцов с полностью выгоревшим связующим – на 22%, при давлении в пневмокамере 5,3 кПа; на 35%, при давлении в пневмокамере 9,3 кПа.

### **Источники**

1. Базукова Э. Р. и др. Исследование коэффициента теплопроводности изоляции из базальтового волокна при различных температурных режимах // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2021. – №. 4. – С. 15-24.

2. Ваньков Ю. В. и др. Термическая устойчивость базальтовой теплоизоляции // Материаловедение, формообразующие технологии и оборудование 2022 (ICMSSTE 2022). – 2022. – С. 330-336

УДК 620.9

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ И ВИНТОВОГО ДЕТАНДЕРА**

Р.Р. Ротач

Науч. рук. д-р. техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

КГЭУ, г. Казань

rita-nurkaeva@mail.ru

Предлагается методика расчета энергетических показателей (выработка электрической энергии, расход пара на сетевые подогреватели) энергокомплекса, состоящего из промышленно-отопительной котельной, винтового детандера.

**Ключевые слова:** винтовая расширительная машина; винтовой детандер; котельная; паровой котел; выработка электроэнергии; собственные нужды котельной.

## **METHOD OF CALCULATION OF INDICATORS OF JOINT OPERATION OF BOILER AND SCREW EXPANDER**

R.R. Rotach

KSPEU, Kazan, Russia

rita-nurkaeva@mail.ru

A method is proposed for calculating energy indicators (electricity generation, steam consumption for network heaters) of an energy complex consisting of an industrial heating boiler house and a screw expander.

**Keywords:** screw expansion machine; screw expander; boiler room; steam boiler; power generation; own needs of the boiler house.

В России имеется потенциал энергосбережения, который достигает примерно третьей части текущего расхода электроэнергии, и есть возможности существенного увеличения финансовой рентабельности проектов в сфере энергетики [1].

При анализе современных решений в энергетической отрасли видится направленность к переходу от централизованной распределенной генерации к малой, которая очень приближена к конечному потребителю. С финансовой и экологической точек зрения многообещающим видится применение когенерации, иными словами, одновременной выработки тепловой и электрической энергии. Актуальность внедрения когенерации в России основывается на следующих обстоятельствах [2]:

- при имеющемся сокращении производства большая часть промышленных и промышленно - отопительных котельных не используют в полной мере установленные мощности котельного оборудования;
- в паровых котельных установлены, как правило, котлоагрегаты вырабатывающие пар с давлением 1,3-1,4 МПа. Однако потребителям в основном требуется пар с давлением 0,3-0,4 МПа. Для снижения давления пара используются редуцирующие устройства (РУ). В процессе дросселирования в РУ пар теряет свою потенциальную энергию, которую можно было бы полезно использовать. [3].

В РФ действует примерно 75 тысяч котельных, однако 46% тепловой и 30,6% электрической энергии вырабатывается на теплоэлектроцентралях, то есть в теплофикационном режиме. Поэтому в приоритете на будущее должен стать отказ от строительства новых котельных. Действующие же котельные необходимо достраивать до мини-ТЭЦ с применением схем когенерации [4].

В статье предлагается методика расчета энергетических показателей энергокомплекса, состоящего из промышленно-отопительной котельной, винтового детандера. Предполагается, что винтовой детандер будет установлен после паровых котлов котельной. Проходя через машину, пар будет понижать свое давление до необходимого перед сетевыми подогревателями, параллельно вырабатывая электрическую энергию на собственные нужды котельной. В зависимости от температуры наружного воздуха и в соответствии с тепловым графиком тепловой сети будет изменяться выработка электрической энергии и расход пара на сетевые подогреватели. Схема включения винтового детандера в тепловую схему котельной приведена в [5].

На первом этапе методики определяются максимальная часовая нагрузка на систему отопления. Производится расчет температурного графика тепловой сети.

На втором этапе, учитывая результаты расчета первого этапа, производится расчет геометрических и выходных параметров ВРМ. Результат второго этапа – расчет количества ВРМ и их электрическая мощность.

Как правило, ВРМ устанавливается параллельно существующим на предприятии РОУ, поэтому на третьем этапе можно для сравнения рассчитать экономию условного топлива от использования ВРМ взамен существующих РОУ.

По результатам расчетов, выполненных по предложенной методике для котельной в г. Нефтекамске были получены следующие результаты: включение ВРМ после паровых котлов в котельной г. Нефтекамска для покрытия нагрузки на отопление, вентиляцию и ГВС возможно в температурном диапазоне наружного воздуха от +8°C до -10°C. Для дальнейшего полного покрытия нагрузки потребителей необходимо подключение водогрейных котлов. При этом выработка электроэнергии на собственные нужды составит 3098 МВт.

### **Источники**

1. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 г.
2. Зарницкий Г.Э., Сергеева Е.Я., Шагинова Н С. Эффективность использования винтовых детандеров в линии топливного газа компрессорных станций // Экономика газовой промышленности. 2015. №5. с. 17-28.
3. Куличихин В.В., Лазарев О.О. Использование избыточного давления природного газа на промышленных предприятиях // Надежность и безопасность энергетики, 2010. №2. С. 48-54.
4. Илюшин П.В. Системный подход к развитию и внедрению распределённой энергетики и возобновляемых источников энергии в России // Open Journal Systems.2022. №4. с.20-27.
5. Ротач Р.Р., Ваньков Ю.В. Повышение эффективности котельной при использовании винтовых расширительных машин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 2. С. 14-23. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-2-14-23.

## ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ

П.А. Савельев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

9173912682pavel@gmail.com

В данной статье описывается применение и перспективы газотурбинных установок малой мощности.

**Ключевые слова:** микротурбина, газотурбинные установки.

## LOW-POWER GAS TURBINE INSTALLATIONS AND PROSPECTS FOR THEIR IMPLEMENTATION

P.A. Savelev

KSPEU, Kazan, Russia

9173912682pavel@gmail.com

This article describes the application and prospects of low-power gas turbine installations.

**Keywords:** microturbine, gas turbine installations.

Газотурбинные установки (ГТУ) являются одной из наиболее эффективных технологий производства энергии и тепла. Они используются в различных отраслях экономики для генерации электричества, производства тепла, привода технологических процессов и других задач.

Однако традиционно газотурбинные установки использовались только для мощных электростанций и больших предприятий. С развитием технологий и увеличением потребностей в энергии, все больше внимания уделяется газотурбинным установкам малой мощности [1].

Перспективы внедрения ГТУ малой мощности говорят о том, что они могут стать неотъемлемой частью энергетического комплекса в различных регионах, где проблема доступа к энергетическим ресурсам очень важна.

Основные преимущества газотурбинных установок малой мощности:

1. Эффективность. ГТУ малой мощности имеют высокий КПД, что

позволяет существенно снизить затраты на производство энергии и тепла.

2. Надежность. Газотурбинные установки отличаются высокой надежностью и долговечностью, что повышает их эксплуатационные параметры.

3. Универсальность. Газотурбинные установки малой мощности могут работать на различных типах топлива, включая газ, дизельное топливо и другие.

4. Мобильность. ГТУ малой мощности удобны для транспортировки, быстро монтируются и легко подключаются к необходимым системам и сетям энергоснабжения [2].

Газотурбинные установки малой мощности могут использоваться для различных задач:

- Освещение и энергоснабжение отдаленных районов.
- Подача электричества в зоне катастроф и аварий.
- Работа на открытых месторождениях нефти и газа.
- Энергоснабжение промышленных зон и предприятий.

Внедрение газотурбинных установок малой мощности может иметь положительный эффект на снижение зависимости населения и бизнеса от централизованной энергосистемы, а также снизить негативное влияние на окружающую среду за счет использования экологически чистых топлив [3].

Существует ряд препятствий для широкого внедрения газотурбинных установок малой мощности, таких как высокие затраты на инвестирование и необходимость разработки инфраструктуры для их эксплуатации. Однако, развитие технологий и государственная поддержка могут существенно ускорить процесс внедрения этой перспективной технологии.

### **Источники**

1. Лоскутников А. А. Применение газотурбинных двигателей малой мощности / А. А. Лоскутников, Д. В. Усов, Л. Н. Ялчибаева, А. В. Копиртех. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2011. — № 10 (33). — Т. 1. — С. 40-42. — URL: <https://moluch.ru/archive/33/3755/> (дата обращения: 01.03.2023).

2. Кузнецова О. Р. Экономическая эффективность систем децентрализованного энергоснабжения: на примере Хабаровского края / О. Р. Кузнецова: дисс. канд. экон. наук: 08.00.05.- Комсомольск-на-Амуре, 2002, URL:<https://don-tech.ru/wp-content/uploads/2014/05/Microturbinnaya-ustanovka.pdf> (дата обращения: 02.03.2023).



3. Ахмедзянов Д. А. Особенности использования газотурбинных установок в качестве источника электроэнергии и тепла / Д. А. Ахмедзянов, Р. Р. Ямалиев, А. И. Каменский. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2010. — № 9 (20). — С. 52-54. — URL: <https://moluch.ru/archive/20/2028/> (дата обращения: 02.03.2023).

УДК 544.774.2

## ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЭРОГЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ФЛЮИДА ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

А.Р. Тимершин

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

timer.az@yandex.ru

В статье рассмотрены основные проблемы получения аэрогеля, а также композитных теплоизоляционных материалов на его основе при сверхкритической сушке.

**Ключевые слова:** аэрогель, сверхкритический флюид, композитные теплоизоляционные материалы, сверхкритическая сушка.

## PROBLEMS OF AEROGEL PRODUCTION USING SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE FLUID

A.R. Timershin

KSPEU, Kazan, Russia

timer.az@yandex.ru

The article discusses the main problems of obtaining aerogel, as well as composite thermal insulation materials based on it during supercritical drying.

**Keywords:** aerogel, supercritical fluid, composite thermal insulation materials, supercritical drying.

Развитие энергетики и промышленности в целом вынуждает искать новые способы повышения энергоэффективности процессов на этапе производства, транспортировки и потребления продукта. Для теплоэнергетики одним из вариантов снижения бесполезных потерь является повышение теплоизоляционных характеристик элементов

системы. Одним из перспективных способов снижения теплопотерь является использование в качестве теплоизоляционного материала аэрогеля или же композитных материалов с его включением [1].

Существует множество методик получения аэрогеля, наилучшим соотношением стоимости и характеристик для теплоэнергетики обладает аэрогель на основе кремния. В основе его получения лежит золь-гель процесс. Наиважнейшим этапом синтеза аэрогеля является сушка [2]. Сушка может происходить как при сверхкритических параметрах сушильного агента, так и при нормальных условиях.

В данной работе мы рассмотрим проблемы, связанные с сверхкритической сушкой.

Независимо от того какие прекурсоры входят в состав золя и какие используются растворители можно выделить ряд основных проблем:

- 1) определение параметров сушильного агента;
- 2) опасность процесса;
- 3) получение аэрогеля сложной формы;
- 4) проблемы масштабирования;
- 5) стоимость.

Рассмотрим каждый из пунктов более детально.

1) Основная проблема определения параметров внутри сушильной камеры находится в отсутствии прямой зависимости скорости сушки от температуры и давления [3], что вынуждает расчетным путем определять необходимые параметры исходя из поставленных целей.

2) Основная опасность процесса сверхкритической сушки заключается в высоком давлении, создаваемом внутри сушильного реактора, что требует, как высокого качества используемых материалов и оборудования, так и наличия достаточной подготовки у обслуживающего персонала для работы с подобными устройствами.

3) В лабораторных условиях возможно создание аэрогелевых пластин нестандартной формы, но для промышленного производства аэрогелевых накладок для трубопроводов, представленных в работе [4], необходимо поточное производство пластин в зависимости от диаметра трубопровода, толщины самой пластины. Сложность заключается в увеличении объемов сушильной камеры из-за полусферической формы геля, что требует дополнительных расчетов сушильного реактора. Таким образом мы сталкиваемся со следующей проблемой.

4) Проблема масштабирования заключается в трудности унификации сушильных реакторов как для лабораторных исследований, так и для промышленного производства аэрогеля. Даже незначительное изменение,

внесенное в процесс сушки, может снизить эффективность, что скажется на скорости сушки и как следствие приведет к увеличению затрат на производство.

5) Основные финансовые вложения при создании установки для получения аэрогеля закладываются на проектировку сушильного реактора, его сборку, а также закупку основного и вспомогательного оборудования, закупку баллонов с углекислым газом для лабораторных исследований. Также немаловажным аспектом является возможность брака заготовки.

Существует масса проблем, с которыми можно столкнуться на этапе получения аэрогеля, но плюсы которые он дает стоят того, чтобы их решить.

### **Источники**

1. Федотова А. О. Применение теплоизоляционных материалов на основе аэрогелей / А. О. Федотова // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика: Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова . Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 180-183.

2. Цыганков П. Ю., Худеев И. И., Уварова А. А., Чубарцева А. А., Меньшутина Н. В. Влияние условий производства на структурные характеристики кремниевого аэрогеля // Успехи химии и химической технологии. 2017. № 6 (187).

3. Шиндряев А., Кожевников Ю., Лебедев А., Меньшутина Н. Исследование процесса получения теплоизоляционных материалов на основе аэрогелей // Успехи химии и химической технологии. 2017. № 6 (187).

4. Патент на полезную модель № 192163 U1 Российская Федерация, МПК F16L 59/12, F16L 59/14. Теплоизоляционная оболочка с внутренней аэрогелевой вставкой: № 2018122306: заявл. 19.06.2018: опубл. 05.09.2019 / А. Е. Кузнецов.

## ПРОБЛЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ АЭРОГЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУШКИ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

А.Р. Тимершин

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

timer.az@yandex.ru

В статье рассмотрены основные проблемы получения аэрогеля, а также аэрогелевых композитов при атмосферной сушке.

**Ключевые слова:** аэрогель, сушка, композитные теплоизоляционные материалы, гидрофобные свойства, атмосферное давление.

## PROBLEMS OF OBTAINING AEROGEL USING DRYING AT ATMOSPHERIC PRESSURE

A.R. Timershin

KSPEU, Kazan, Russia

timer.az@yandex.ru

The article discusses the main problems of obtaining aerogel, as well as aerogel composites during atmospheric drying.

**Keywords:** aerogel, drying, composite thermal insulation materials, hydrophobic properties, atmospheric pressure.

В настоящее время существует множество способов получения аэрогеля, в основе всех них лежит давно изученный золь-гель процесс. Основные отличия появляются на заключительном этапе синтеза аэрогеля – на этапе сушки. Большинство методик получения аэрогеля включают в себя процесс сверхкритической сушки. Большинство же методик получения теплоизоляционных материалов на основе аэрогеля базируются на процессе сушки при атмосферном давлении [1]. Связано это с отсутствием необходимости проведения процесса сушки в специальном сушильном реакторе, что значительно облегчает процесс, а также удешевляет его. Сушка при атмосферном давлении может проводиться как в сушильных шкафах, так и на специальных сушильных конвейерах [2,3].

Сушка при атмосферном давлении выглядит как идеальный вариант

для получения аэрогеля в лабораторных и промышленных условиях, но и у данного способа имеется ряд существенных проблем.

1) В процессе сушки при атмосферном давлении растворитель находящийся в порах геля не замещается сверхкритическим диоксидом углерода, поэтому происходит испарение растворителя под воздействием высоких температур. Из-за высокого поверхностного напряжения возможно схлопывание пор, что приводит к значительной усадке и уменьшению внутренней площади поверхности, получению так называемого ксерогеля имеющего пористость 15-50% в сравнении с аэрогелем пористость которого превышает 90%, в данном случае ксерогель попросту является браком [4].

2) Из вышеизложенного пункта становится очевидна необходимость укрепления структуры будущего аэрогеля. Из этого вытекает следующая проблема – усложнение золь-гель процесса. Увеличение количества этапов и прекурсоров увеличивает шанс возникновения ошибки, а также значительно усложняет химический расчет процесса.

3) Из необходимости укрепления структуры и придания гидрофобных свойств появляется еще один недостаток – опасность. К примеру, для укрепления структуры на одном из этапов в золь может добавляться диметилформамид, который по ГОСТ 12.1.005 имеет 2 класс опасности и относится к группе высокоопасных веществ [5].

4) Основным недостатком, как и в большинстве случаев получение аэрогеля при атмосферной сушке имеет высокую стоимость, только в отличии аэрогеля полученного при сверхкритических параметрах, основным критерием высокой стоимости является стоимость прекурсоров, которая примерно в два раза выше чем у аналога, затраты на брак (ксерогель), также затраты на нагрев сушильного агента во время сушки.

Подводя итог можно сказать, что аэрогель, полученный при атмосферной сушке может уступать аэрогелю, полученному при сверхкритической сушке, в качестве, но значительно выигрывает в количестве, а также разнообразии продуктов, которые можно получить в промышленных масштабах уже сейчас.

### **Источники**

1. Цыганков П. Ю., Худеев И. И., Уварова А. А., Чубарцева А. А., Меньшутина Н. В. Влияние условий производства на структурные характеристики кремниевого аэрогеля // Успехи химии и химической технологии. 2017. № 6 (187).

2. Шиндряев А., Кожевников Ю., Лебедев А., Меньшутина Н.

Исследование процесса получения теплоизоляционных материалов на основе аэрогелей // Успехи химии и химической технологии. 2017. № 6 (187).

3. Федотова А. О. Применение теплоизоляционных материалов на основе аэрогелей / А. О. Федотова // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : Материалы конференции. В 3-х томах, Казань, 07–08 декабря 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова . Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 180-183.

4. Бабашов В. Г. Применение аэрогелей для создания теплоизоляционных материалов (обзор) / В. Г. Бабашов, Н. М. Варрик, Т. А. Карасева // Труды ВИАМ. – 2019. – № 6(78). – С. 32-42. – DOI 10.18577/2307-6046-2019-0-6-32-42.

5. Получение гидрофобных аэрогелей / С. И. Иванов, П. Ю. Цыганков, И. И. Худеев, Н. В. Меньшутина // . – 2015. – Т. 29, № 4(163). – С. 112-114. – ЭДН УМПТПН.

УДК 620.19

## **КОНТРОЛЬ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛН ЛЭМБА**

Г.Ш. Ульябаева<sup>1</sup>, С.О. Гапоненко  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
<sup>1</sup>gulyabaeva@bk.ru

В сложившихся экономических условиях в нашей стране необходимо оценивать остаточный ресурс трубопроводных систем, отслуживших свой расчетный срок. Анализ дефектности показал, что в настоящее время, одной из главных причин разрушения трубопроводов, эксплуатирующихся в системах ЖКХ, является коррозионное поражение. Наиболее эффективным методом диагностики является акустический метод неразрушающего контроля, а именно контроль, основанный на применении волн Лэмба.

**Ключевые слова:** трубопровод, акустический контроль, волны Лэмба.

## MONITORING OF THE CORROSION CONDITION OF THE PIPELINE USING THE LAMB WAVE

G.Sh. Ulyabaeva<sup>1</sup>, S.O. Gaponenko

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>gulyabaeva@bk.ru

In the current economic conditions in our country, it is necessary to assess the remaining resource of pipeline systems that have served their estimated life. The defect analysis showed that at present, one of the main reasons for the destruction of pipelines operated in housing and communal services systems is corrosion damage. The most effective diagnostic method is the acoustic method of non-destructive testing, namely, control based on the use of Lamb waves.

**Keywords:** pipeline, acoustic control, Lamb waves.

В настоящее время существует множество различных методик контроля оборудования, основанных на использовании волн Лэмба, с помощью которых можно обнаруживать сложно ориентировочные поверхностные дефекты, измерять толщину контролируемого изделия, исследовать механические характеристики материалов [1]. Но также остается открытым вопрос об обнаружении и идентификации дефектов, а именно таких, как трещины и несплошности объемного типа, что наиболее актуально для трубопроводов, изготовленных из неметаллических и композиционных материалов.

Контроль коррозионного состояния трубопроводов на сегодняшний день носит актуальный характер, так как огромное количество различных трубопроводов используется как в сфере ЖКХ, так и в нефтегазовой отрасли. Тем самым своевременное выявление технического состояния особо важно.

В работе описан метод, основанный на распространении волн Лэмба. Технический результат данного метода заключается в генерировании волн Лэмба с резонансной частотой в интервале от 200 до 15000Гц (см. рис. 1) [2].

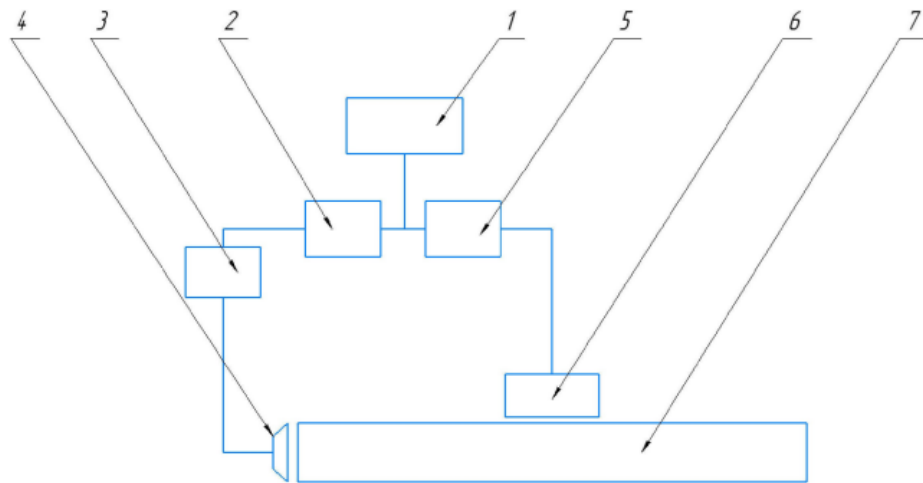


Рис. 1. Схема устройства:

1 - ПК; 2 - аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); 3 - усилитель сигнала; 4 - динамический излучатель; 5 - АЦП; 6 - чувствительный элемент; 7 - исследуемый трубопровод.

Регистрация колебаний осуществляется через одинаковые интервалы по всей длине исследуемого трубопровода (см. рис. 2). Впоследствии по результатам измерений строится график распределения амплитуды колебания по линии измерения. В результате анализ показывает, что в точках, где график амплитуд колебаний выходит за пределы доверительного интервала, находится зона обнаруженного дефекта [3]. Определить размер дефекта можно, основываясь на степени выхода графика амплитуды колебания за пределы доверительного интервала [4].

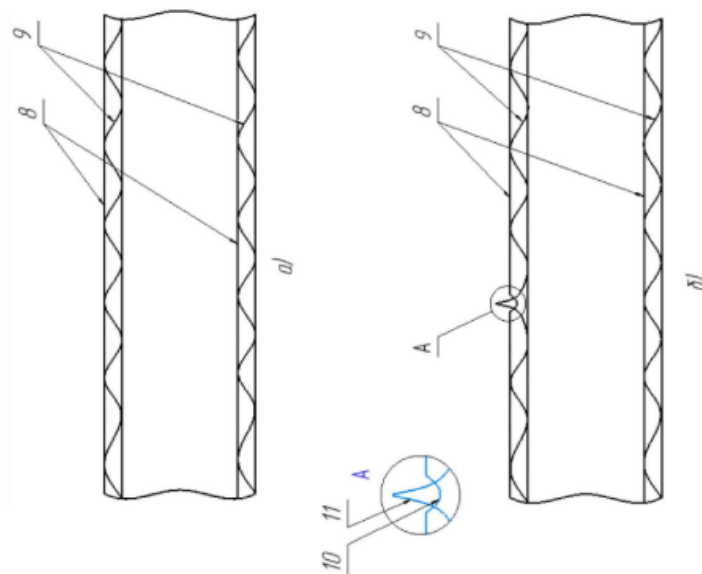


Рис. 2. Распространение волн Лэмба в оболочке исследуемого трубопровода: 8 - оболочка трубопровода; 9 - волны Лэмба; 10 - дефект в стенке трубопровода; 11 - резкое изменение амплитуды колебания в месте расположения дефекта



Предложен новый метод контроля коррозионного состояния трубопровода, основанный на использовании волн Лэмба. При применении вышеописанного метода можно выявлять различные дефекты, определять их размеры.

#### **Источники**

1. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020.

2. Гапоненко С.О, Кондратьев А.Е, Шакурова Р.З, Тазитдинов Р.Р. Информационно – диагностический комплекс для контроля технического состояния трубопроводов // Патент России № 2713563 от 07.05.2019.

3. Балбукова Е.В, Олейник А.Г. Разработка системы автоматизированного мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса теплоэнергетического оборудования // Труды Кольского научного центра РАН. – 2017.

4. MehrdadShemshadi. Mahdi Karimi.FarzadVeysi A Simple Method to Design and Analyze Dynamic Vibration Absorber of Pipeline Structure Using Dimensional Analysis. Fabio Rizzo. 2020. Vol. 1.

УДК 681.178.1

### **МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕЙСКАТЕЛЯ**

Е.А. Усанова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Ш.Г. Зиганшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

usankate03@gmail.com

В статье рассмотрены методы обработки сигнала акустического течеискателя. Актуальность работы заключается в необходимости более эффективной обработки сигнала.

**Ключевые слова:** течеискатель, методы, оценка, область, время.

### **ACOUSTIC LEAK DETECTOR SIGNAL PROCESSING METHODS**

E.A. Usanova

KSPEU, Kazan, Russia

usankate03@gmail.com

The article considers the methods of acoustic leak detector signal processing. The relevance of the work lies in the need for more efficient signal processing.

**Keywords:** leak detector, methods, assessment, area, time.

Акустический метод основан на замере и регистрации звуковых колебаний, проявляемых в трубопроводе, земле или воздухе с помощью датчиков при утечке теплоносителя [1]. Типовая установка датчиков акустических течеискателей представлена на рисунке.



Способ установки датчиков акустического течеискателя

Большинство методов, которые были предложены для оценки активной временной задержки (как в управлении, так и в обработке сигналов), могут быть отнесены к одному из следующих классов [2]:

1. Методы аппроксимации с временной задержкой. Входные и выходные сигналы представлены в определенном базисе, и временная задержка оценивается на основе приближения соотношения (модели) между сигналами в этом базисе. Временная задержка не является явным параметром в модели. В зависимости от области существует несколько подклассов:

(a) Методы аппроксимации во временной области. Основа состоит из импульса функции  $\delta(t-t_n)$ . Временная задержка - это задержка для запуска импульсной характеристики. Нахождение максимума взаимной корреляции между входом и выходом является распространенным методом. Методы, которые чрезмерно параметризуют числитель модели передаточной функции, например также относятся к этому классу [3].

(b) Методы аппроксимации в частотной области. Основа состоит из сложных синусоид. Временная задержка оценивается по частоте временной задержки. Временная задержка эквивалентна сдвигу фазы.

(c) Методы аппроксимации области Лагерра. Временная задержка оценивается по соотношению между входным и выходным сигналами, выраженному в функциях Лагерра непрерывного или дискретного времени.

Также возможны другие основы для сигналов, например, функции Каутца. В этих методах есть два независимых шага [4]:

- 1) Оценка аппроксимационной модели.
  - 2) Оценка временной задержки по модели.
2. Явные методы определения параметров временной задержки.

Временная задержка является явным параметром в модели.

(a) Одноэтапные явные методы. Временная задержка и другие параметры модели оцениваются одновременно. Возможны два варианта:

i. Смоделировать и оценить временную задержку как непрерывный параметр в модели непрерывного времени. Таким образом, временная задержка не ограничивается кратностью интервала выборки, но может быть временной задержкой подвыборки.

ii. Смоделировать и оценить временную задержку как дискретный параметр в модель с дискретным временем.

(b) Двухэтапные явные методы. Чередование оценки временной задержки с другими параметрами.

(c) Методы отбора проб. Использование процесса выборки для получения выражения для временной задержки. Например, выборка с удержанием нулевого порядка в системе с временными задержками подвыборки создает дополнительный ноль.

3. Методы площади и момента. Эти методы используют соотношения между временной задержкой и определенными областями выше или ниже ступенчатой характеристики и определенными моментами импульсной характеристики. Существует два независимых шага [5]:

1) Оценка или измерение ступенчатой или импульсной характеристики. 2) Оценка временной задержки по этим ответам.

4. Методы статистики высшего порядка (HOS). Их главное преимущество заключается в том, что шум с симметричной функцией плотности вероятности, например, гауссовой, теоретически может быть полностью удален.

### **Источники**

1. Петрушенко Ю. Н., Ваньков Ю. В., Зиганшин Ш. Г., Тырышкин В. Н. Виброакустический способ и диагностический комплекс для определения дефектов трубопроводов с использованием нейронной сети // Вестник КГЭУ. Казань. 2009.

2. Косыгин А. Б., Ханин В. Н., Государев К. И., Фомина И. В. Обнаружение скрытых утечек с использованием системы мониторинга водопроводной сети // ВСТ. – 2010. – № 4.

3. Гуменюк В.А., Сульженко В.А., Яковлев А.В. Система классификации степени опасности источников акустической эмиссии и критерий экспресс-оценки состояния объектов на основе нечеткой логики // Контроль. Диагностика. — 2003. — № 1.

4. Спиро В.Е., Рыбакина О.Г. Исследование циклической

трещиностойкости металлических материалов с учетом пластической деформации в вершине трещины. — Краткие сообщения XXIII Российской школы по проблемам науки и технологий. — Екатеринбург. — 2003.

5. РД 03-299–99. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов. М. 2009, 18 с.

УДК 620.92

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТОПЛИВА

Е. В. Федосеева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е.Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Fedoseevakatyia2002@yandex.ru

В условиях стремительного роста промышленности закономерно повышается спрос на энергию. Традиционным топливным источником являются углеводороды, запасы которых непрерывно истощаются. Поэтому применение альтернативных источников энергии в настоящее время является актуальным.

**Ключевые слова:** отходы, разложение, биогаз, удобрения.

## PROSPECTS FOR THE USE OF BIOFUELS

E.V. Fedoseeva

KSPEU, Kazan, Russia

Fedoseevakatyia2002@yandex.ru

In the conditions of rapid industrial growth, the demand for energy naturally increases. The traditional fuel source is hydrocarbons, whose reserves are continuously depleted. Therefore, the use of alternative energy sources is currently relevant.

**Keywords:** waste, decomposition, biogas, fertilizers.

С ростом численности населения Земли и дальнейшим развитием промышленности происходит рост спроса на энергию. Повышается спрос на все виды ресурсов, как на традиционные, так и на возобновляемые. Все страны ищут способы получения экономичного и экологичного топлива [1]. Политика нашей страны направлена на экономику замкнутого цикла - это сделано для переработки разных видов отходов.

Агропромышленный комплекс при производстве продуктов питания наносит огромный урон природе. Биологические отходы без соответствующей обработки отравляют почву, водоёмы и атмосферу. Загрязнение атмосферного воздуха происходит в результате выброса аммиачного газа, выделяющегося при испарении удобрений животного происхождения. Водоёмы и почва загрязняются из-за неправильного обращения с отходами животноводства, что приводит к появлению болезнетворных микробов. Всё это влияет на здоровье людей не самым лучшим образом и может привести к серьёзным заболеваниям. Учитывая сказанное, можно избежать негативных последствий и получить выгоду, если будем использовать биогазовые установки [2].

С помощью биогазовой установки из отходов сельского хозяйства можно получать биоудобрения и энергоресурсы, которые можно использовать как для собственных нужд, так и для продажи [3].

В настоящее время обычным является добавление коферментов для увеличения содержания органических веществ и, таким образом, достижения более высокого выхода газа. Типичными коферментами являются органические отходы сельскохозяйственных производств, пищевые отходы и/или собранные бытовые биоотходы домохозяйств. Состав и количество полученного биогаза зависят от исходного сырья и типа кофермента [4].

Помет домашней птицы содержит более легко разлагаемые органические материалы, чем другие сельскохозяйственные отходы. Здесь имеют место высокое содержание таких элементов, как 40–50% лигнина и лигноцеллюлозы, которые относятся к классу биоволокон. Другой альтернативой для повышения выхода биогаза является совместное сбраживание птичьего помета с другими органическими отходами, которые содержат повышенное содержание легкоразлагаемых органических веществ (например, такими как пшеничная солома, твердые бытовые отходы, свиной навоз, сточные воды и др.) улучшающими баланс питательных веществ и соотношение углерода и азота.

Навоз крупного рогатого скота является широко используемым субстратом, который смешивается с горячей водой в соотношении 1:1 и подается в резервуар для получения биогаза и удобрения. Во избежание нарушения процесса необходимо предварительно подготовить сырье к обработке. В этом случае предварительная обработка различными методами значительно увеличивает деградацию субстратов и, соответственно, эффективность биореакции. Химические, термические, механические или ферментативные процессы могут применяться для

ускорения процесса разложения, что не обязательно означает более высокий выход биогаза [5].

Таким образом, из всех известных альтернативных источников энергии, использование биогаза является наиболее перспективным, так как в этом случае решаются сразу несколько проблем: получение биотоплива для электрической и тепловой энергии, утилизация органических отходов и получение высокоэффективных органических удобрений.

### **Источники**

1. Кондратьев А. Е. Особенности построения геотермальной системы теплоснабжения жилого поселка / А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 417-419. – EDN JFPHGG.

2. Мустафина Г. Р. Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Экологическая безопасность в техносферном пространстве : сборник материалов Третьей Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 09 июня 2020 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2020. – С. 88-90. – EDN NYXDPA.

3. Горбунов К. Г. Законодательные проблемы теплоэнергетики / К. Г. Горбунов, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2019. – № 2. – С. 111-113. – EDN LJVNRC.

4. Improving the methodology for assessing the technical condition of equipment during the transportation of energy carrier in energy systems and complexes / S. O. Gaponenko, R. Z. Shakurova, A. E. Kondratiev, R. Dimova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/201912401021. – EDN UXIYTB.

5. Мустафина Г. Р. Особенности конструкций реакторов для получения биотоплива / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СУМГАИТ, 12–13 ноября 2020 года. – СУМГАИТ: Сумгаитский государственный университет, 2020. – С. 277-280. – EDN JJVOBP.

## ГЕЛИОСИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЯ С ТЕПЛОАККУМУЛЯТОРОМ НА ОСНОВЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

А.О. Федотова<sup>1</sup>, Р.А. Пономарев<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>nastya2505fedotova@mail.ru, <sup>2</sup>romanponomarevich@mail.ru

В статье приведены сведения о видах тепловых аккумуляторов, показана эффективность применения агрегатов с фазовым переходом, в том числе с ВИЭ, а также проведен анализ веществ, пригодных для использования в таких аккумуляторах.

**Ключевые слова:** тепловой аккумулятор, фазовый переход, кристаллогидраты, парафины, ТАМ.

## SOLAR HEAT SUPPLY OF A BUILDING WITH A HEAT STORAGE BASED ON A PHASE TRANSITION

A.O. Fedotova<sup>1</sup>, R.A. Ponomarev<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>nastya2505fedotova@mail.ru, <sup>2</sup>romanponomarevich@mail.ru

The article provides information about the types of thermal batteries, shows the effectiveness of the use of units with a phase transition, including those with renewable energy sources, and also analyzes substances suitable for use in such batteries.

**Keywords:** heat accumulator, phase transition, crystalline hydrates, paraffins, PCM.

В настоящее время наиболее используемым видом энергии является тепловая, ввиду меньших затрат на ее выработку по сравнению с электрической. Однако, ее потребление неравномерно и изменяется в зависимости от времени суток, дня недели, сезона, а также погодных условий, поэтому для эффективного использования теплоты необходимо применение теплоаккумуляторов [1].

Важнейшими характеристиками систем теплового аккумулирования являются: емкость на единицу объема; температурный интервал работы; мощность, необходимая для аккумулирования и отвода тепла; конструктивные параметры; средства регулирования тепловых потерь; капитальные и эксплуатационные затраты.

Теплоаккумулирующие материалы (ТАМ) классифицируются в зависимости от цикличности (однократного и многократного действия);

класса вещества (соли, металлы, органические и пр.) и способа аккумулирования (фазопереходные, теплоемкостные, термохимические).

Наряду с аккумуляторами с теплоемкостными ТАМ, накапливающими энергию за счет нагревания вещества без изменения агрегатного состояния, в настоящее время развиваются так называемые тепловые аккумуляторы на фазовом переходе (АФП). Преимущества их использования заключаются в больших значениях удельной энергии при меньших габаритах, что позволяет накопить и отдать большие объемы теплоты при меньших капитальных затратах [2].

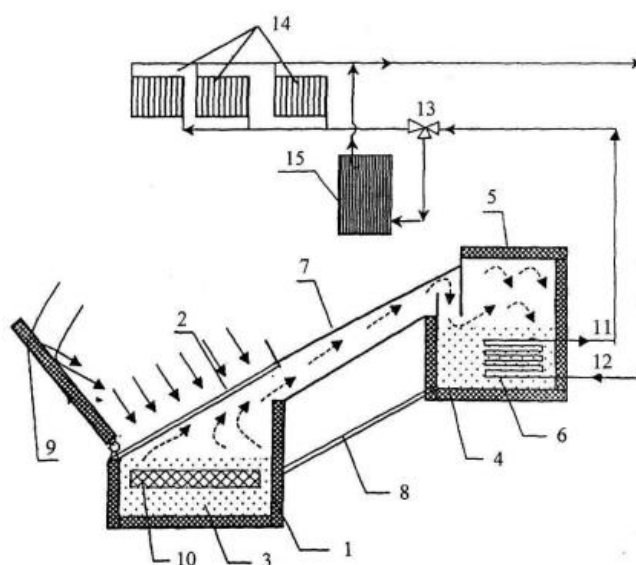
В большинстве своем АФП основаны на переходах твердое тело — жидкость и жидкость — твердое тело, а основными ТАМ являются соединения металлов, соли, кристаллогидраты, органические вещества.

Первые два класса веществ имеют высокие температуры плавления, поэтому наибольший интерес для низкотемпературных тепловых аккумуляторов ( $100^{\circ}\text{C}$  —  $350^{\circ}\text{C}$ ) представляют кристаллогидраты и органические вещества, прежде всего парафины [3].

Кристаллогидраты хоть и обладают высокой теплотой фазового перехода, коррозионно-активны и нестабильны при многократных изменениях агрегатного состояния, что ограничивает их использование.

Наиболее доступными для применения в АФП являются парафины ввиду низкой стоимости, долговечности, стабильности свойств при циклическом плавлении — затвердевании, экологической безопасности [4].

Фазопереходные аккумуляторы можно применять совместно с ВИЭ, например, солнечными коллекторами (см. рисунок).



Принципиальная схема гелиосистемы теплоснабжения здания



Через прозрачное ограждение 2 солнечное излучение нагревает теплоноситель 3 жидкостной емкости 1 солнечного коллектора. При этом теплоноситель испаряется и по трубе 7 в виде пара движется в паровую емкость 4 с теплоизоляционной крышкой 5, где посредством теплообмена с ТА 6 происходит его конденсация, и по переливной трубке 8 он возвращается в емкость 1, где установлен АФП 10, например, с парафином. Он служит для испарения теплоносителя в периоды отсутствия солнечного излучения. Полученное тепло по подающему трубопроводу 11 через трехходовой вентиль поступает в теплообменники 14 для обогрева помещения, либо бак-аккумулятор 15, используемый также при отсутствии солнца [5].

Таким образом, применение аккумуляторов теплоты с фазовым переходом позволит решить проблему неравномерности теплового потребления, при этом с возможностью использования в качестве источника теплоты нетрадиционных источников энергии.

Работа выполнялась в рамках гос. задания # 075-03-2023-291.

### **Источники**

1. Zhang N. et al. Latent heat thermal energy storage systems with solid–liquid phase change materials: a review // *Advanced Engineering Materials*. – 2018. – Т. 20. – №. 6. – 1700753.

2. Боровков В. М. Повышение маневренности АЭС с помощью аккумуляторов энергии / В. М. Боровков, А. В. Кушаков // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2010. – № 5-6. – С. 135-139. – EDN NULAQV.

3. Методика проведения эксперимента модели аккумулятора теплоты с фазовым переходом вещества / Р. М. Махмудов, З. И. Холмуродова, Ш. А. Усмонов, С. Ш. Бабаназаров // *Universum: технические науки*. – 2021. – № 5-2(86). – С. 50-54. – EDN YGFOBJ.

4. Побережнюк М.М., Кудря С.А., Минченков Т.Г. Аккумулирование тепла низкоплавкими расплавами // *Гелиотехника*. 1984, № 3, С, 22.

5. Бабаев Б.Д. Разработка и исследование энергосистем на основе возобновляемых источников с фазопереходным аккумулялированием тепла [Текст]: дис. доктора техн. наук: 05.14.01: 27.04.2016 / Бабаев Баба Джабраилович. – Махачкала, 2016.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГОРЕЛКИ РГМГ-10 НА МЕТАНО-ВОДОРОДНОЙ СМЕСИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

А.В. Федюхин<sup>1</sup>, М.В. Ушкарев, С.А. Дронов, Д.В. Семин, А.Г. Гусенко

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва

<sup>1</sup>Fediukhinav@mpei.ru

В статье предложена имитационная модель горелки РГМГ-10 с учетом перевода ее с мазута на метано-водородную смесь. Результатом моделирования является визуализация процессов горения метано-водородной смеси в топочном узле котлоагрегата с определением длины факела.

**Ключевые слова:** водогрейный котельный агрегат, метано-водородная смесь, математическая модель, водородная энергетика, энергоэффективность.

## MODELING OF THE RGMG-10 BURNER OPERATION MODE ON A METHANE-HYDROGEN FUEL USING ANSYS SOFTWARE

A.V. Fedyukhin<sup>1</sup>, M.V. Ushkarev, S.A. Dronov, D.V. Semin, A.G. Gusenko

MPEI, Moscow, Russia

<sup>1</sup>Fediukhinav@mpei.ru

The article proposes a simulation model for the RGMG-10 burner, taking into account its conversion from fuel oil to a methane-hydrogen mixture. The result of the simulation is the visualization of methane-hydrogen mixture combustion in boiler with the determination of the flame length.

**Keywords:** hot water boiler, methane-hydrogen mixture, mathematical model, hydrogen energy, energy efficiency.

Применение метано-водородных котлов большой мощности позволит снизить эмиссии парниковых газов от централизованных источников тепловой энергии [1]. В этой связи является актуальным определение граничных условий по соотношению метана и водорода в газообразном топливе с точки зрения энергетической эффективности и экономической целесообразности реконструкции действующих котельных и строительства новых. Кроме того, важно оценить комплексные риски и барьеры для активного внедрения метано-водородных котлов большой мощности: возможность модернизации действующих котлоагрегатов;

необходимость создания дополнительной инфраструктуры для генерации, транспортировки и хранения водорода; необходимость модернизации технологической линии по производству водогрейных котельных агрегатов [2-4].

Горелка РГМГ-10 предназначена для применения в котлах КВ-ГМ-10-150. Моделирование горелки РГМГ-10 произведено в среде Ansys с использованием пакетов ICEM и Fluent при соотношении метана и водорода 80/20 в объемных долях (рис. 1). Расчетная сетка построена двумя методами: Robust (Octree) и Quick (Delauney). Максимальный размер одного элемента (Global Element Seed Size) составляет 0,1 м.

Расчетный расход топлива составляет  $G_{\text{топл}} = 0,244$  кг/с, расход окислителя при  $\alpha = 1,25 - G_{\text{возд}} = 4,987$  кг/с. В среде Fluent задаются граничные условия для моделирования горелки, например расход топлива и его давление (119945 Па), давление смеси на выходе из горелки, температура топлива и окислителя (300К, 323К), модели радиации (DO – Discrete Ordinates).

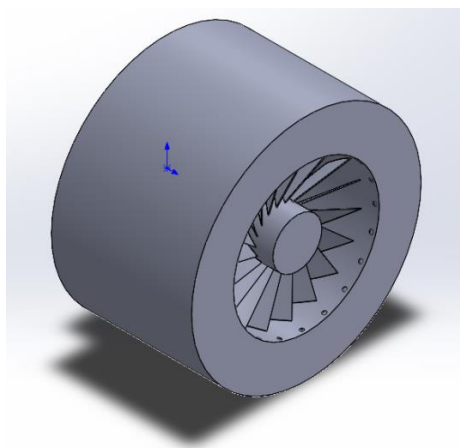


Рис. 1. Трехмерная модель горелки РГМГ-10

На рис. 2 представлены результаты математического моделирования с построением эпюры распределения температурных полей по объему топки водогрейного котельного агрегата КВ-ГМ-10-150.

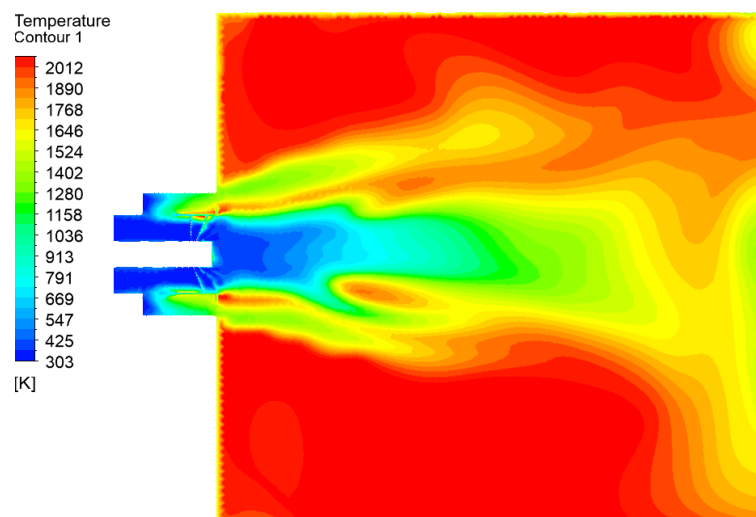


Рис. 2. Эпюра распределения температурных полей

Длина факела определяется по формуле  $l_{\phi} = 1,5 \cdot \left( \frac{\alpha}{\alpha - 0,5} \right)^2 \cdot B^n$ , где  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха,  $B$  – производительность горелки т/ч, показатель  $n$  определяется по нормативным диаграммам: Для метано-водородной смеси  $n_{\text{газ}} = 0,74$ , для мазута  $n_{\text{мазут}} = 0,68$ .

Расчетная длина факела составит:

$$l_{\phi}^{\text{газ}} = 1,5 \cdot \left( \frac{\alpha}{\alpha - 0,5} \right)^2 \cdot B^{n_{\text{газ}}} = 1,5 \cdot \left( \frac{1,25}{1,25 - 0,5} \right)^2 \cdot 0,81^{0,74} = 3,57 \text{ м};$$

$$l_{\phi}^{\text{мазут}} = 1,5 \cdot \left( \frac{\alpha}{\alpha - 0,5} \right)^2 \cdot B^{n_{\text{мазут}}} = 1,5 \cdot \left( \frac{1,25}{1,25 - 0,5} \right)^2 \cdot 1,25^{0,68} = 4,85 \text{ м}.$$

Из сопоставления расчетных величин можно установить, что факел при сжигании метано-водородной смеси короче, чем при сжигании мазута, что подчеркивает техническую возможность использования горелки РГМГ-10 для сжигания перспективного топлива. Для перевода водогрейного котла КВ-ГМ-10-150 на метано-водородную смесь требуется проведения ряда научно-исследовательских и конструкторских работ по определению объема реконструкции горелки, топочной камеры и поверхностей нагрева.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка научных основ проектирования метано-водородных конденсационных водогрейных котлоагрегатов» при поддержке гранта НИУ «МЭИ» на реализацию программы научных исследований «Приоритет 2030: Технологии будущего» в 2022 – 2024 гг.

### Источники

1. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(6):79-91.

2. Bălănescu D.T., Nomutescu V.M., Effects of hydrogen-enriched methane combustion on latent heat recovery potential and environmental impact of condensing boilers, Applied Thermal Engineering, Volume 197, 117411, 2021.

3. Boulahlib M.S., Medaerts F., Boukhalfa M.A., Experimental study of a domestic boiler using hydrogen methane blend and fuel-rich staged combustion, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 46, Issue 75, pp. 37628 – 37640, 2021.

4. Hinrichs J., Hellmuth M., Meyer F., Kruse S., Plümke M., Pitsch Н., Investigation of nitric oxide formation in methane, methane/propane, and methane/hydrogen flames under condensing gas boiler conditions, Applications in Energy and Combustion Science, Volume 5, 100014, 2021.

УДК 620.9

## ВЕЩЕСТВА С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Д.Р. Хакимов

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

bin@mail.ru, fio@mail.ru

Процесс сбора тепловой энергии повышает эффективность теплоэнергетических систем, в том числе систем охлаждения и кондиционирования воздуха, снижает пиковое потребление электроэнергии и мощность отопительных приборов при переменных нагрузках.

**Ключевые слова:** материалы с фазовым переходом, хранение тепловой энергии, теплопроводность, теплоаккумуляторы, энергия холода, системы отопления, горячее водоснабжение.

## SUBSTANCES WITH PHASE TRANSITIONS FOR THERMAL ENERGY ACCUMULATION

D.R. Khakimov  
KSPEU, Kazan, Russia  
bin@mail.ru, fio@mail.ru

The process of collecting thermal energy increases the efficiency of thermal power systems, including cooling and air conditioning systems, reduces peak electricity consumption and the power of heating devices at variable loads.

**Keywords:** materials with phase transition, thermal energy storage, thermal conductivity, heat accumulators, cold energy, heating systems, hot water supply.

Материалы с фазовым переходом, используемые для хранения тепловой энергии являются важным классом современных материалов, которые вносят существенный вклад в эффективное использование и сохранение тепла и солнечной энергии. Накопление тепловой энергии в системах отопления, горячего водоснабжения, охлаждения, кондиционирования и вентиляции позволяет значительно снизить расход энергоресурсов [1,2].

Для хранения энергии холода преимущественно используются жидкие среды и ВФП [3].

Значительное внимание уделено аккумулированию тепловой энергии с использованием ВФП. Вещества с фазовым переходом имеют относительно большую массовую и объемную плотность накопления тепловой энергии, в 5-14 раз выше по сравнению с аккумулирующими жидкостями, химически стабильны и экономичны [4]. Свойства этих веществ должны соответствовать следующим требованиям: высокая плотность, теплопроводность и удельная теплота плавления; негорючесть и нетоксичность; экологическая безопасность; химическая стабильность, отсутствие деградации в процессе использования и цикловая стабильность фазовых переходов; низкая степень переохлаждения; небольшая цена и доступность.

В теплоаккумуляторах в основном используется ВФП типа «твердое тело-жидкость». Они делятся на органические, неорганические и эвтектики (эвтектические растворы).

Много исследований было посвящено гидратам солей и эвтектикам в связи с относительно большими значениями их удельной теплоты фазового перехода, теплопроводности и плотности накопления энергии, а также приемлемый температурный диапазон фазовых переходов. Они негорючие и недороги.

Типичные парафиновые воски представляют собой смеси насыщенных углеводородов, состоящие из в основном из алканов с прямой цепи и жирные кислоты. Жирные кислоты и парафины имеют очень низкие температуры переохлаждения и стабильную границу раздела при застывании или плавлении, без перехода из одной фазы в другую и стабильны при многократных фазовых переходах. Однако есть и недостатки, эти вещества имеют относительно высокую стоимость и низкую теплопроводность.

Предложенные исследователями решения позволяют интенсифицировать передачу тепловой энергии. В частности, к ним относятся введение в вещества с фазовым переходом некоторое количество частиц материалов с высокой теплопроводностью, а также наночастиц, например порошка алюминия или наночастиц графита и использование ребристых поверхностей в теплообменниках. Теплопроводность также можно увеличить на два порядка путем пропитки пористого графита и других матриц парафином (RT42, Rubotherm, Германия).

В таблице представлена информация о ряде ВФП для хранения холода в СКВ ( $\lambda$  - теплопроводность ВФП).

Название ВФП	$t_{\text{фп}}, ^\circ\text{C}$	$\lambda_{\text{фп}}, \text{кДж/кг}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$
Эвтектики и гидраты солей			
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O, NaCl, NH <sub>4</sub> Cl	7,5	121	0,55(жидкость) 0,7(твердое состояние)
Тип 41	5,0–5,5	123	–
Тип 47	8–9	95,4	–
S 7	7	150	0,40
S 8	8	150	0,44
S 10	10	155	0,43
Парафины и жирные кислоты			
C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> ( <i>n</i> -Tetradecane)	6	230	0,21(твердое состояние)
C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> ( <i>n</i> -Pentadecane)	10	212	–
Rubitherm RT5	4–6	158	–
50:50(об. %) C <sub>14</sub> H <sub>30</sub> :C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> ( <i>n</i> -Hexadecane)	4–6	154,8	–
HCOOH Муравьиная кислота	7,8	247	–
Dimethyl hexanedioate **	8	160	–
50:50 C-L Acid: P (об.%) <sup>*</sup>	10,2	157,8	–

<sup>\*</sup> Смесь кислот 65 мол.% каприновой кислоты (С) и 35 мол.% лауриновой кислоты (L).

<sup>\*\*</sup> Диэтиловый эфир адипиновой кислоты (C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>).

#### Некоторые свойства веществ с фазовым переходом для СКВ

Материал, представленный в этой статье, указывает на то, что накопление тепловой энергии с последующим ее использованием в системах охлаждения и нагрева повышает эффективность, снижая энергопотребление. Разработка и продвижение систем на основе аккумулирования энергии является актуальной научно-технической

задачей, поскольку потребление энергоресурсов мировым сообществом постоянно растет.

#### **Источники**

1. Al-Aifan B., Parameshwaran R., Mehta K., Karunakaran R. Performance evaluation of a combined variable refrigerant volume and cool thermal energy storage system for air conditioning applications // International Journal of Refrigeration. 2017. V. 76. P. 271–295. Doi: 10.1016/j.ijrefrig.2017.02.008
2. Kim G.T., Choi Y.U., Chung Y., Kim M.S., Park K.W., Kim M.S. Experimental study on the performance of multi-split heat pump system with thermal energy storage // International Journal of Refrigeration. 2018. V. 88. P. 523–537. Doi: 10.1016/j.ijrefrig.2018.01.021
3. Bahiraei F., Fartaj A., Nazri G.A. Experimental and numerical investigation on the performance of carbonbased nanoenhanced phase change materials for thermal management applications // Energy Conversion and Management. 2017. V. 153. P. 115–128. Doi: 10.1016/j.enconman.2017.09.065
4. Бараненко А.В., Кузнецов П.А., Захарова В.Ю., Цой А.П. Применение веществ с фазовыми переходами для аккумуляции тепловой энергии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 6. С. 990–1000. Doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-6-990-1000

УДК 620.164.3

### **МЕТОД ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ВОЗМОЖНОГО ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА НА СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРУБОПРОВОДА**

В.Е. Чанчина<sup>1</sup>, С.О. Гапоненко<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Кондратьев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>veronika.zaharova.95@mail.ru, <sup>2</sup>sogaponenko@yandex.ru

В представленной работе рассмотрено использование метода вынужденных колебаний при анализе возможного влияния грунтов различного типа на собственные колебания трубопровода. С помощью данного метода произведен модальный анализ собственных колебаний стального трубопровода при схеме укладки с наклонными стенками и различным грунте (пески гравелистые, крупные и средней крупности; глины тяжелые). Сделаны выводы о влиянии грунта на изменение частот собственных колебаний.

**Ключевые слова:** надёжность, трубопровод, модальный анализ, собственные колебания.



# THE METHOD OF FORCED OSCILLATIONS IN THE ANALYSIS OF THE POSSIBLE INFLUENCE OF SOILS OF VARIOUS TYPES ON THE NATURAL VIBRATIONS OF THE PIPELINE

V.E. Chanchina<sup>1</sup>, S.O. Gaponenko<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>veronika.zaharova.95@mail.ru, <sup>2</sup>sogaponenko@yandex.ru

In the present paper, the use of the forced oscillation method is considered in the analysis of the possible influence of soils of various types on the natural vibrations of the pipeline. With the help of this method, a modal analysis of the natural vibrations of the steel pipeline was carried out with a laying scheme with inclined walls and various soils (gravel sands, large and medium-sized; heavy clays). The influence of the soil on the change in the frequencies of natural oscillations is determined.

**Keywords:** reliability, pipeline, modal analysis, natural oscillations.

Трубопроводы, используемые в энергетике, являются распространенными и ответственными элементами, и изучение их эксплуатационных характеристик всегда актуально. В частности, возбуждение вынужденных в трубопроводных системах и установление закономерностей их взаимодействия представляет практический интерес. Известно, что только определенные частоты могут вызывать в трубопроводе свободные колебания. Следовательно, при оказании внешнего воздействия на среду, находящуюся в трубопроводе, возможно создание в данном трубопроводе вынужденного колебания произвольной частоты. Данный метод называется методом вынужденных колебаний и основан на анализе амплитудно-частотных характеристик объекта контроля (в нашем случае трубопровода) при его нахождении в состоянии резонанса [1].

Для проведения анализа возможного влияния грунтов различного типа на собственные колебания трубопровода был использован программный комплекс ANSYS [2].

В качестве исходных данных были приняты параметры стального трубопровода (наружный диаметр 127 мм, толщиной стенки трубы 2,8 мм) и двух типов грунтов: пески гравелистые, крупные и средней крупности; глины тяжелые. Для устойчивости итерационных процессов были заданы следующие константы: вид трубопровода и грунта; температура и плотность грунта. [3].

Результат исследования частот собственных колебаний стального

трубопровода диаметра 127 мм показан в таблице 1. Из полученных 100 мод в таблице представлена часть значений (а именно, моды с 43 по 46) собственных частот  $\nu$  [Гц] стального трубопровода. Было произведено три вида расчетов: без воздействия грунта («-»), под воздействием грунта типа Г-I и грунта типа Г-VI [4].

Таблица 1

Результаты расчетов			
Мода	Трубопровод метровый 127x2,8		
	-	Г-I	Г-VI
...	$\nu$ [Гц]		
43	4208	4207,5	4207,4
44	4317	4316,4	4316,2
45	4425,4	4425,3	4425,2
46	4599,1	4598,7	4598,6
...			

Анализ возможного влияния грунтов различного вида на изменение собственных колебаний трубопровода, проведенный в программном комплексе ANSYS, показал следующее: грунт оказывает определенное влияние на изменение частот собственных колебаний исследуемого трубопровода. А именно, наименьшее значение частот достигается при укладке коммуникации в грунт типа «глины тяжелые», что можно объяснить его вязкостью и пластичностью [5].

### Источники

1. Загретдинов А. Р. Разработка прибора и методики ударно-акустического контроля многослойных композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, Ю. В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9-10. – С. 97-104. – EDN RUHADR.
2. Gaponenko S. O. Improving the efficiency of energy complexes and heat supply systems using mathematical modeling methods at the operational stage / S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 05029. – DOI 10.1051/e3sconf/201912405029. – EDN WGSUEF.
3. Загретдинов А. Р. Аппаратно-программное обеспечение ударно-акустического контроля композиционных конструкций / А. Р. Загретдинов, А. Е. Кондратьев, Ш. Г. Зиганшин // Инженерный вестник Дона. – 2014. –

№ 4-1(31). – С. 27. – EDN TPMSOV.

4. Gaponenko S. O. Improving the efficiency of energy complexes and heat supply systems using mathematical modeling methods at the operational stage / S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // E3S Web of Conferences : 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. – Kazan: EDP Sciences, 2019. – P. 05029. – DOI 10.1051/e3sconf/201912405029. – EDN WGSUEF.

5. Применение методов математического моделирования для определения влияния грунта на частоты собственных колебаний трубопроводов / В. Е. Чанчина, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев [и др.] // Надежность и безопасность энергетики. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 142-147. – DOI 10.24223/1999-5555-2021-14-2-142-147. – EDN QQARWP.

УДК 542.45

## ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

И.С. Чемоданов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Э.А. Ахметов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Igor240600chemodanov@mail.ru

В статье показаны основные виды вторичных энергоресурсов, а также рассмотрены теплообменные аппараты, используемые для утилизации тепловых вторичных энергоресурсов и приведена их классификация.

**Ключевые слова:** утилизация энергоресурсов, теплообменный аппарат, вторичное тепло, кожухотрубчатый, пластинчатый, котел-утилизатор.

## HEAT EXCHANGERS FOR UTILIZATION OF SECONDARY ENERGY RESOURCES

I.S. Chemodanov

KSPEU, Kazan, Russia

Igor240600chemodanov@mail.ru

The article shows the main types of secondary energy resources, and also considers heat exchangers used for the utilization of thermal secondary energy resources and their classification is given.

**Keywords:** utilization of energy resources, heat exchanger, secondary heat, shell-and-tube, lamellar, recovery boiler.

В настоящее время проблема энергосбережения является основной в энергетике, нашей страны. В современных условиях проблема энергосбережения может быть приравнена к проблеме наращивания производства первичных энергоресурсов. Кроме того, энергосберегающие технологии являются экологическими абсолютно чистыми источниками энергии, в то время как в дальнейшем наращивание производства и использование другого вида топлива связано с тем или иным негативным воздействием на окружающую среду и, следовательно, дополнительными затратами на предотвращение этого вредного воздействия.

Одним из основных направлений энергосберегающих технологий является утилизация вторичных энергоресурсов. Важность данного направления трудно переоценить. По техническим характеристикам вторичные энергоресурсы делят на три группы [1]: топливные, тепловые и ресурс избыточного давления.

В данной работе мы рассмотрим способы утилизации именно тепловых энергоресурсов. Источником вторичного тепла могут выступать множество теплоэнергетических установок, таких как сушильные аппараты, турбокомпрессорные газоперекачивающие станции, доменные печи и так далее. Вторичное тепло можно разделить на низкопотенциальное и высокопотенциальное [2].

Для утилизации высокопотенциальных вторичных тепловых ресурсов используют такие сложные теплообменные аппараты как котлы-утилизаторы, используемые для производства пара и дальнейшей выработки электроэнергии, а также для коммунального и промышленного теплоснабжения [3].

Котлы-утилизаторы можно разделить на следующие виды:

- газотрубчатые установки малой мощности и низкого давления до 1,4 МПа, работают при температуре отходящих газов 850-1200 °С;
- конвективные с производством пара до 4,5 МПа, также работающие при температуре 850-1200 °С;
- радиационно-конвективные с естественной циркуляцией, работающие на отходящих газах при температуре до 1600 °С и рассчитанные на получение пара давлением до 4,0 МПа.

Помимо котлов-утилизаторов для утилизации применяют рекуперативные и регенеративные теплообменные аппараты.

Для утилизации низкотемпературных вторичных тепловых ресурсов используют следующие теплообменные аппараты [4]:

- 1) контактные аппараты с различными насадками для использования тепла парогазовых потоков;

- 2) многоступенчатые установки с аппаратами типа «тепловая труба» для использования тепла агрессивных жидкостей;
- 3) скрубберно-солевые установки для утилизации тепла дымовых газов;
- 4) регенеративные вращающиеся теплообменники, теплообменники с тепловыми трубами для использования тепла вентиляционных выбросов;
- 5) рекуперативные теплообменники для использования тепла дымовых газов и паровоздушных смесей [5];
- 6) теплообменники с промежуточным теплоносителем.

В настоящее время наиболее распространены котлы-утилизаторы, самым простым примером является парогазовая установка, котлы-утилизаторы, устанавливаемые обычно за газотурбинными установками, снижают тепловые выбросы от ГТУ и повышают эффективность установки.

Утилизация вторичного тепла является одним из основных способов повышения энергоэффективности множества теплоэнергетических предприятий.

### **Источники**

1. Способы и аппараты утилизации теплоты отработавших газов / А.В. Губарев, М.А. Головков, Д.С. Дьячук, С.А. Бычихин // Энергетические системы: Сб. тр. II Межд. научно-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. С. 322-326.
2. Шинкаренко, А. А. Использование вторичных энергетических ресурсов / А. А. Шинкаренко // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. – С. 4504-4507.
3. Кулешов М.И., Носатов В.В. Утилизация теплоты отходящих газов печей цементных заводов. БГТУ им. Шухова, 1993. 12 с.
4. Кулешов М.И., Носатов В.В. Контактно - рекуперативный теплообменник для комплексной обработки горячих запыленных отходящих газов. М.: Изд-во МЭИ, 1991. 11 с.
5. Современные змеевиковые аппараты, перспективы их развития и теория расчета / Я. Д. Золотонос, Е. К. Вачагина, И. А. Крутова, А. Я. Золотонос // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 1(49). – С. 52-65.

## ПОДОГРЕВ ВОЗДУХА ГОРЕНИЯ НА ПЕЧАХ ЗА СЧЕТ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

А.А. Черный, И.М. Сабиров, Н.М. Янайкин  
Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Ю.Н. Звонарева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
blackksandermobile@gmail.com

В настоящей статье мы на примере ПТБ (печь трубчатая блочная) рассмотрим возможность использования дымовых газов как энергоресурса для подогрева воздуха, поступающего в топочную камеру, за счет передачи тепла через промежуточный теплоноситель.

**Ключевые слова:** печь, дымовые газы, подогрев воздуха, ПТБ.

## HEATING OF COMBUSTION AIR ON FURNACES DUE TO HEAT RECOVERY OF FLUE GASES

A.A. Chernyi, I.M. Sabirov, N.M. Yanaykin  
KSPEU, Kazan, Russia  
blackksandermobile@gmail.com

In this article, using the example of PTB (tubular block furnace), we will consider the possibility of using flue gases as an energy resource for heating the air entering the furnace chamber by transferring heat through an intermediate coolant.

**Key words:** furnace, flue gases, air heating, PTB.

При поиске новых способов повышения энергоэффективности предприятий и промышленных объектов, где применяется оборудование, сжигающее топливо (технологические печи, котлы и т.д.), проблема применения потенциала дымовых газов поднимается не первую очередь. Утилизация тепла – это способ полезного применения тепловой энергии уходящих газов или нагретых продуктов производства, которую предприятие может эффективно применять для собственных нужд отопления, подогрева воды и т.д. [1].

Печь трубная блочная (ПТБ) – это печь прямого нагрева, назначением которой является нагрев нефти и углеводородных эмульсий для их дальнейшей подготовки, транспортировки на

нефтегазодобывающем промысле.



Рис.1. Печь трубная блочная ПТБ-10А

В процессе сжигания топлива образуются дымовые газы, температура которых составляет не менее 250 0С. Дымовые газы являются побочным энергоресурсом и не имеют дальнейшего использования.

На данный момент существуют следующие часто применяемые модели на нефтепромысловых объектах – ПТБ 5-40Э, ПТБ-10А, ПТБ-10Э. ПТБ – 10Э является на данный момент наиболее усовершенствованной моделью, по сравнению с предыдущими моделями. Максимальный КПД этой установки может достигать 85%. Этого смогли достичь за счет модернизации отдельных блоков самой установки:

- в теплообменной камере дополнительно установлены однорядные змеевики;
- в дымовых трубах установлены змеевики для подогрева топливного газа в зимнее время до температуры +65 С;
- применение двух вентиляторных агрегатов для параллельной работы с возможностью регулирования производительности каждого из них;
- дополнительно улучшена система автоматизации. Более полное сгорание топливного газа за счет управления соотношением газ-воздух [2].

Но в системе данных печей не предусмотрен подогрев воздуха поступающего в камеру сгорания. Мы предлагаем доработать систему печи - использовать тепло уходящих дымовых газов для нагрева воздуха поступающего на горение. Для этого необходимо:

1. Смонтировать на печи ПТБ вместо дымовых труб утилизаторы тепла дымовых газов [3].
2. На воздуховоде после вентилятора смонтировать доработанный

утилизатор тепла (рекуператор) [4,5].

3. Смонтировать насос для циркуляции промежуточного теплоносителя (вода, тосол).

4. Смонтировать промежуточную буферную емкость.

5. Для циркуляции теплоносителя соединить технологическими трубопроводами утилизаторы тепла и рекуператор.

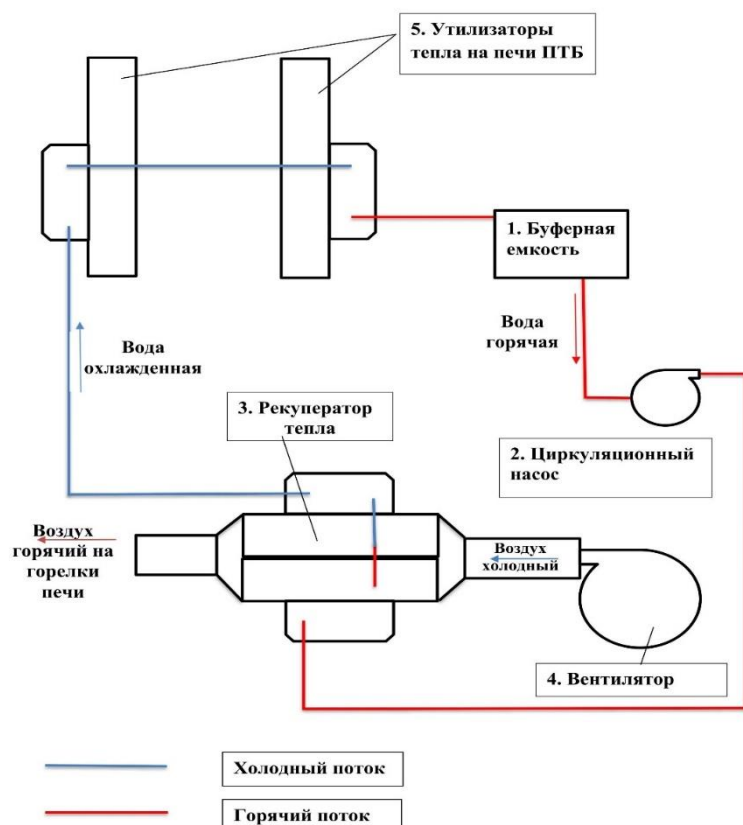


Рис.2. Технологическая схема рекуперации тепла дымовых газов

Технологическая схема рекуперации тепла дымовых газов для нагрева подаваемого в печь воздуха горения прилагается на рисунке 2 и заключается в следующем: с буферной емкости (1) промежуточный теплоноситель (вода) насосным агрегатом (2) направляется в рекуператор тепла (3), где происходит отдача тепла горячей воды воздуху горения, подаваемый вентилятором (4) в горелки печи нагрева. Температура воды в рекуператоре охлаждается с 95-97 °С до 40-45 °С за счёт воздуха подаваемым вентилятором (4) типа ВЦ6-28-10. Охлажденная воздухом вода из рекуператора (3) направляется в утилизаторы тепла дымовой камеры (5), где пресная вода нагревается с 40-45 °С до 95-97 °С за счет тепла дымовых газов печи нагрева. Нагретая вода из утилизаторов тепла дымовой камеры (5) самотеком поступает в буферную емкость (1).



Проведенные исследования показывают, что подача подогретого воздуха в топочную камеру позволяет на несколько процентов повысить тепловую (энергетическую) экономичность печи. Это способствует в определенной степени регулировать распределением тепловых потоков к поверхности нагрева [6].

Данные мероприятия позволят увеличить температуру подаваемого воздуха в печь на 20-40 °С (зависит от режима работы печи и производительности вентиляторов). Это в свою очередь ведет к снижению потребления объема газа на печах и еще большему увеличению КПД самой установки в целом.

### Источники

1. Инжиниринговая компания «ПЕРВЫЙ ИНЖЕНЕР» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://1-engineer.ru/utilizaciya-tepla-dymovyh-gazov/> (дата обращения: 22.10.2022).

2. ООО «САЛЮС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://salus-ural.ru/oborudovanie/nagrevatelnoe/pech-trubchataya-blochnaya-ptb-10e/> (дата обращения: 22.10.2022).

3. Акционерного общества «Давлекановский завод нефтяного машиностроения» (сокращенное наименование АО «Нефтемаш») [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://dznm.ru/products/komplektuyushchie/ptb-5-40-05-00-000-01/> (дата обращения: 22.10.2022).

4. Юдин Р.А., Ковряков С.В., Колодезный В.И., Виноградов А.В. Селезнев В.К., Яничев А.Н. Рекуператор для нагрева первичного воздуха печи открытого малоокислительного нагрева и способ нагрева первичного воздуха в рекуператоре: пат. № RU 2343387 С2; заявл. 09.01.2007; опубл. 10.01.2009, Бюл. № 32.

5. Валиев Р.Н., Зиганшин Ш.Г., Костылева Е.Е, Плоникова Л.В., Загретдинов А.Р., Маряшев А.В. повышение теплоэнергетической эффективности тепловой схемы паровой котельной // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 1 (37). С. 45-54.

6. Садыков А.В., Смолин Н.Г., Емекеев В.И., Вафин Д.Б. Влияние подогрева подаваемого для горения воздуха на характеристики теплообмена в трубчатой печи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 21-26.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ДЕАЭРАТОРОВ В СХЕМАХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВА КАРБАМИДА И АММИАКА

М.В. Чупраков<sup>1</sup>, Ю.Г. Сухоруков<sup>1</sup>, А.Д. Эрнандес<sup>1</sup>, Н.Е. Шарапова<sup>1</sup>, В.С. Жукова<sup>1</sup>,  
Е.К. Пыльская<sup>2</sup>, М.П. Егоров<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук П.В. Егоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОАО «НПО ЦКТИ», г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

<sup>3</sup>ГБОУ «СОШ № 349», г. Санкт-Петербург

<sup>1</sup>deaerator@ckti.ru, <sup>2</sup>ekpylskaya@mail.ru

В статье описана проведённая специалистами ОАО «НПО ЦКТИ» модернизация импортных термических деаэраторов с целью повышения энергоэффективности и увеличения производительности промышленных энергоустановок химического предприятия. Представлены основные технические характеристики деаэраторов атмосферного и повышенного давления до и после их модернизации.

**Ключевые слова:** термический деаэратор, энергоустановка, деаэрационная колонка, гидравлическая форсунка, барботажное устройство.

## MODERNIZATION OF THERMAL DEAEERATORS IN POWER PLANTS FOR UREA AND AMMONIA PRODUCTION

M.V. Chuprakov<sup>1</sup>, Yu.G. Sukhorukov<sup>1</sup>, A.D. Ernandes<sup>1</sup>, N.E. Sharapova<sup>1</sup>, V.S. Zhukova<sup>1</sup>,  
E.K. Pylskaya<sup>2</sup>, M.P. Egorov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>JSC «NPO CKTI», St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

<sup>3</sup>School No. 349, St. Petersburg, Russia

<sup>1</sup>deaerator@ckti.ru, <sup>2</sup>ekpylskaya@mail.ru

The article describes the modernization of imported thermal deaerators carried out by specialists of JSC NPO CKTI in order to increase energy efficiency and increase the productivity of industrial power plants of a chemical enterprise. The main technical characteristics of atmospheric and high-pressure deaerators before and after their modernization are presented.

**Keywords:** thermal deaerator, power plant, deaeration column, hydraulic nozzle, bubbling device.

Термические деаэраторы традиционно используются для подготовки воды путем удаления из нее различных коррозионных веществ, таких, как кислород и свободная углекислота, и применяются в различных промышленных энергоустановках, в том числе и в химической промышленности.

В 2019 году по заказу крупного российского предприятия по производству аммиака и различных видов азотных удобрений перед сотрудниками ОАО «НПО ЦКТИ» была поставлена цель модернизировать уже существующие в схемах два деаэратора зарубежной поставки:

- атмосферного давления производительностью 100 т/ч (КНР), установленного в цехе производства карбамида;
- деаэратора повышенного давления производительностью 425 т/ч (Япония), установленного в цехе производства аммиака.

Целью модернизации являлось повышение энергоэффективности и увеличение производительности промышленных энергоустановок химического производства.

После проведенного анализа, в отношении обоих деаэраторов были приняты схожие технические решения, к преимуществам которых следует отнести:

- использование в конструкции струйных ступеней, размещенных в колонках, а также барботажного устройства, установленного в баке, которые предназначены для обеспечения нагрева и деаэрации воды в проектных режимах работы обеих установок;
- создание дополнительной поверхности контакта водяной и паровой фаз для улучшения теплообмена;
- повышение эффективности работы деаэрационных колонок;
- уменьшение вертикального габарита и массы деаэрационных колонок.

Указанные решения неоднократно были апробированы при разработке и внедрении новых деаэраторов на электростанциях [1] и др.

После изготовления на производственной базе ОАО «НПО ЦКТИ» необходимых элементов конструкций и их монтажа на объекте, в 2020 г., были проведены опытные испытания обоих деаэраторов, которые показали, что модернизированные аппараты работают устойчиво и надежно, полностью соответствуют требованиям Заказчика. Остаточное содержание в деаэрированной воде растворенного кислорода приблизительно  $1 \div 3$  мкг/кг.

Таблица 1

## Основные технические параметры деаэраторов до и после их реконструкции

Наименование	Единицы измерения	До реконструкции		После реконструкции
Деаэратор атмосферного давления производительностью 100 т/ч				
Давление рабочее, абсолютное	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,12 (1,2)		0,12 (1,2)
Расход пара на деаэратор	т/ч	6,0 ÷ 8,0	3,0 ÷ 4,0	3,0 ÷ 4,0
Содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде на выходе из установки	мкг/кг	10	40 ÷ 60	1 ÷ 2
Деаэратор повышенного давления производительностью 475 т/ч				
Давление рабочее, абсолютное	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,238 (2,42)		0,238 (2,42)
Расход пара на деаэратор	т/ч	6,0 ÷ 9,0	6,0 ÷ 17,76	2,7 ÷ 17,76
Содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде на выходе из установки	мкг/кг	7	80 ÷ 100	2 ÷ 3

**Выводы**

1. Выполнена реконструкция двух существующих деаэраторов атмосферного и повышенного давления зарубежного производства с учетом современных технических решений.

2. Проведенные испытания и последующий опыт эксплуатации показали, что усовершенствованные деаэраторы работают надежно, устойчиво и эффективно в заданном диапазоне тепловых и гидравлических параметров.

**Источники**

1. Егоров П.В., Чупраков М.В., Гиммельберг А.С., Михайлов В.Е., Штыков Е.С., Тарасов И.В., Петров М.Ю. Новый деаэратор атмосферного давления для системы теплоснабжения ГТУ-ТЭЦ ЭС-1 Центральной ТЭЦ Санкт-Петербурга. Энергетик, 2019, № 3 – с.31.

## Секция 5. Автоматизация технологических процессов и производств

УДК 620.9:62-729

### СИСТЕМА МАСЛОСНАБЖЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КРЫМА

Д.Р. Абдрахманов<sup>1</sup>, И.М. Сафаров<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. К.Х. Гильфанов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> danis1108@mail.ru, <sup>2</sup> ildarsafarov@inbox.ru

В данной статье рассматривается применение системы маслоснабжения ветроэнергетической установки на территории Крымского полуострова. Проводится анализ климата.

**Ключевые слова:** ветроэнергетическая установка, возобновляемая энергия, энергия ветра, автономное электроснабжение, маслоснабжение.

### OIL SUPPLY SYSTEM OF A WIND POWER PLANT IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE CRIMEA

D.R. Abdrakhmanov<sup>1</sup>, I.M. Safarov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup> danis1108@mail.ru, <sup>2</sup> ildarsafarov@inbox.ru

This article discusses the application of the oil supply system of a wind power plant on the territory of the Crimean Peninsula. Climate analysis is being carried out.

**Keywords:** wind power plant, renewable energy, wind energy, autonomous power supply, oil supply.

Самой важной частью изучаемого технологического процесса является система маслоснабжения. Именно от нее зависит надежность и безаварийность процесса в целом. Масляная система обеспечивает работу системы смазки подшипников электрогенератора и редуктора, отвод тепла в летний сезон и подогрев в зимний. Кроме этого, устройство масляной системы значительно влияет на пожаробезопасность агрегата.

На Крымском полуострове сосредоточено около 50% всей вырабатываемой ветровой электроэнергии России. Именно поэтому вопрос

оптимизации системы маслоснабжения для климатических условий Крыма является актуальным [1].

Для того, чтобы понять какие параметры необходимо контролировать на территории Крыма, нужно провести климатический анализ. Обращаясь к исследованиям прошлых лет, мы видим, что потепление происходило в основном за счёт зимнего периода: увеличивалось количество и продолжительность зимних оттепелей, сопровождающихся повышением уровня дневных температур. Также характерным было повышение температур теплого времени года, которое являлось следствием глобального потепления [2].

Из проведенного анализа за период с 1985 по 2017 гг. выявляется тенденция повышения температуры воздуха. Графически тенденция представлена ниже (рис. 1). Среднегодовая температура воздуха поднялась за данный период с 9°C до 13°C и неуклонно продолжает расти, что говорит о необходимости повышения пожаробезопасности [3].

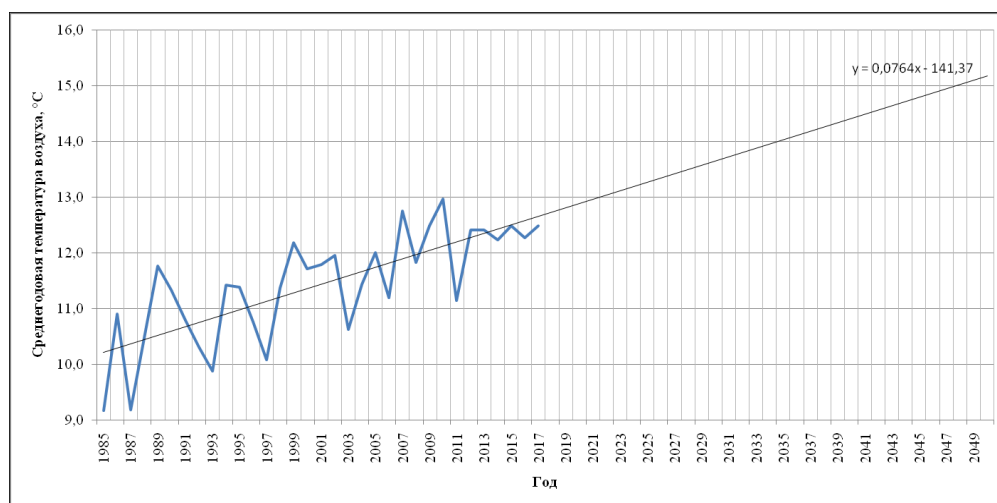


Рис. 1. Динамика и прогноз изменения пространственно-осреднённой среднегодовой температуры Крымского полуострова

Изучив метеоданные за 2022 год делаем вывод, что максимально низкая возможная температура  $-9^{\circ}\text{C}$ , а максимально высокая  $+35^{\circ}\text{C}$ . На основе этого выявляется необходимость использования аппарата воздушного охлаждения (АВО) и трубчатых электронагревателей (ТЭН) в системе маслоснабжения [4].

Ниже представлена технологическая схема системы маслоснабжения ветроэнергетической установки (рис. 2).

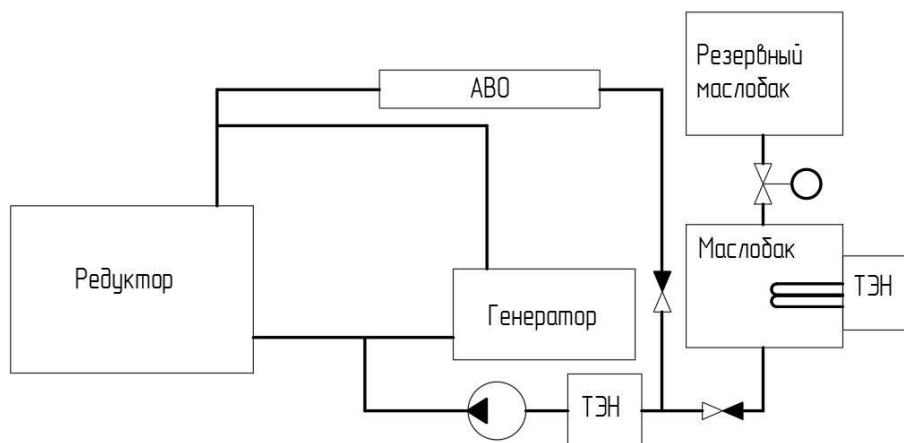


Рис. 2. Технологическая схема маслоснабжения ВЭУ

Оптимальная температура масла для сохранения её свойств 70-80 °С. Система снабжена предпусковым ТЭН для подогрева масла в маслобаке. Далее уже непосредственно в цикле присутствует АВО и ТЭН, которые срабатывают при необходимости, когда температура масла отклоняется от оптимальной.

В заключение можно сказать, что представленная система маслоснабжения удовлетворяет всем требованиям климатических условий Крымского полуострова. Внедрение данной системы обеспечит эффективность смазки и теплоотвода, также повысит надежность технологического процесса, сводя к минимуму риск возгорания.

### Источники

1. Лубков А. С., Сухонос О. Ю. Исследование ветроэнергетических ресурсов Крымского полуострова по ежечасным данным реанализа ERA5 //Системы контроля окружающей среды. – 2020. – №. 3. – С. 23-29.
2. Опанасенко Н. Е., Рябов В. А. Климатические условия Крыма //СИСТЕМА САДОВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ КРЫМ. – 2016. – С. 21-28.
3. Рыбалко Е. А., Баранова Н. В. Исследование тенденций изменения климатических условий в Республике Крым для планирования размещения виноградных насаждений //Системы контроля окружающей среды. – 2018. – №. 14. – С. 116-121.
4. Метеоданные Крыма за 2022 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pogoda1.ru/katalog/republic-crimea/2022/>

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДЫМОУДАЛЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ

Д.Б. Абзалов

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент Н.В. Богданова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

esports\_707@mail.ru

В статье рассмотрена модернизация системы дымоудаления в административном здании. Актуальность работы заключается в удовлетворении правил пожарной безопасности и обеспечении безопасных условий эвакуации при модернизации системы дымоудаления.

**Ключевые слова:** дымоудаление, автоматизация, интерфейс, безопасность, огнезадерживающие клапаны.

## MODERNIZATION OF THE SMOKE REMOVAL SYSTEM OF THE ADMINISTRATIVE BUILDING

D.B. Abzalov

KSPEU, Kazan, Russia

esports\_707@mail.ru

The article discusses the modernization of the smoke removal system in an administrative building. The relevance of the work lies in meeting the fire safety rules and ensuring safe evacuation conditions during the modernization of the smoke removal system.

**Keywords:** smoke removal, automation, interface, safety, fire-retaining valves.

При возникновении пожара в здании образуется большое количество дыма, который распространяется внутри здания и негативно влияет на организм человека. Для борьбы с этим была разработана автоматизированная система дымоудаления, основная цель которой обеспечить безопасные условия для эвакуации людей из здания при возникновении пожара [1].

Система дымоудаления представляет собой статическую систему: при возникновении пожара происходит отключение вентиляции и закрытие в соответствующей зоне огнезадерживающих клапанов для ограничения притока кислорода и дальнейшего развития пожара [2]. Такая



система установлена в административном здании. Появление коридора безопасности в этом здании является причиной модернизации системы дымоудаления [3].

В коридоре безопасности необходимо поддерживать не только температуру подаваемого воздуха на уровне 18 °С, но и избыточное давление на уровне от 20 до 150 Па, согласно правилам пожарной безопасности [4]. В соответствии с этим необходимо установить аналоговые датчики избыточного давления и температуры. Также потребуется вентилятор подпора воздуха, частотный преобразователь, электрический воздушнонагреватель, клапан с электроприводом [5].

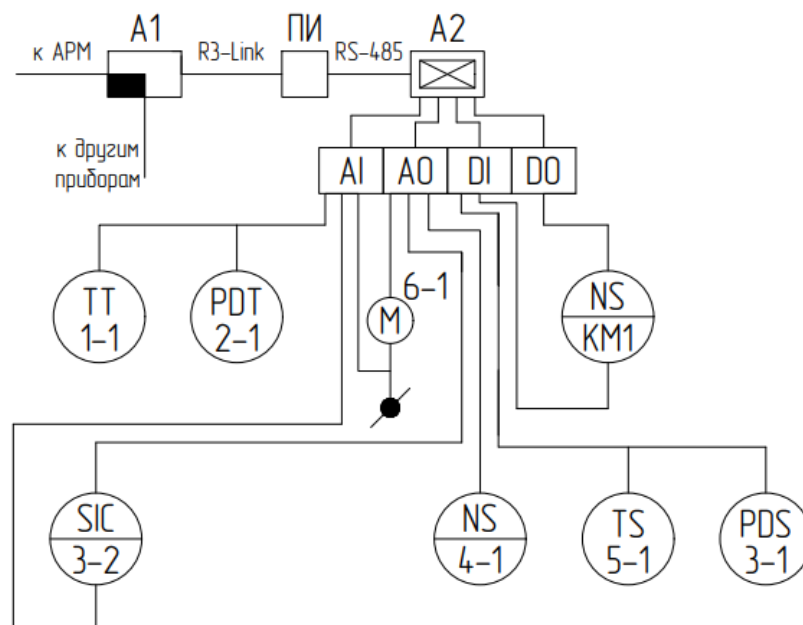
Для контроля и регистрации данных, а также управления исполнительными механизмами потребуется контроллер с аналоговыми входами и выходами, у которого имеется сертификат соответствия в области пожарной безопасности. В качестве контроллера, который удовлетворяет всем требованиям был выбран «ПЛК 154», имеющий линию связи по интерфейсу RS-485 по протоколу Modbus.

Система дымоудаления административного здания до модернизации разработана на основе приборов компании «Рубеж», среди которых:

- 1) приёмно-контрольный прибор «R3-Рубеж-2ОП», необходимый для управления всей системой;
- 2) блок индикации «R3-Рубеж-БИУ»;
- 3) пульт управления «R3-Рубеж-ПДУ»;
- 4) «МДУ-1-R3», являющийся адресным модулем, который необходим для управления клапаном.

Центральный прибор «R3-Рубеж-20П» производит обмен данными с другими элементами системы по интерфейсу R3-Link по протоколу R3 и подключён к автоматизированному рабочему месту через USB. Так как интерфейсы центрального прибора и контроллера отличаются, то потребуется модуль сопряжения, в качестве которого выбран «R3-МС», основная задача которого состоит в преобразовании интерфейсов R3-Link/Rs-485.

Структурная схема автоматизации подпора воздуха, благодаря которой будет обеспечиваться поддержание избыточного давления в коридоре безопасности, представлена на рисунке.



Структурная схема автоматизации подпора воздуха

Благодаря модернизации системы дымоудаления удалось обеспечить все необходимые требования пожарной безопасности, которые способствуют успешной эвакуации людей из здания в случае возникновения пожара.

### Источники

1. Казанина И.В., Разбицкий Е.В., Автоматизация систем управления метрополитена г. Алматы. // Актуальные научные исследования в современном мире. 2019. №12. С. 96-101.
2. Колесниченко Е.Л., Сивков Ю.В., Автоматизация системы пожаротушения и дымоудаления в здании ДК "Строитель" г. Тюмени. // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации). 2014. №12. С. 240-243.
3. Киселева А.А., Смирнов В.Д., Внедрение современных систем дымоудаления в производственных помещениях. // Техносферная безопасность. 2019. С. 104-106.
4. Рябова В.И., Андреев А.А. Система дымоудаления в многоквартирном доме. // Научные горизонты. 2019 № 9. С. 184-188.
5. Системы вентиляции: виды, устройство, назначение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tion.ru/ventilyaciya/> – свободный.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ МАЗУТА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

А.Р. Андреева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент В.В. Плотников

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Melinoehades21@mail.ru

В статье сформулирована идея хранения и подготовки мазута с использованием технологий машинного обучения и искусственного интеллекта. Изучены особенности подготовки мазутного топлива к использованию, проанализированы возможности повышения эффективности и снижения энергозатрат при подготовке мазута.

**Ключевые слова:** автоматизация, хранение мазута, искусственный интеллект, машинное обучение, водяные линзы.

## AUTOMATION OF FUEL STORAGE USING MACHINE LEARNING

A.R. Andreeva

KSPEU, Kazan, Russia

Melinoehades21@mail.ru

The article formulated the idea of storing and preparing fuel oil using machine learning and artificial intelligence technologies. The features of the preparation of fuel oil for use are studied, the possibilities of increasing efficiency and reducing energy costs in the preparation of fuel oil are analyzed.

**Keywords:** automation, fuel oil storage, artificial intelligence, machine learning, water lenses.

Основным используемым топливом в тепловых электростанциях и по сей день является мазут. Не смотря на использование природного газа, в периоды непредвиденных ситуаций, мазут выступает резервной альтернативой. При эксплуатации мазутных котлов одной из самых популярных проблем становится неполное сгорание топлива, непостоянное слабое пламя и неэффективные затраты теплоэнергии. Основная причина заключается в исходном агрегатном состоянии мазута [1]. Исходное состояние мазута очень вязкое, что создает проблемы для дробления топлива до необходимо малых частиц, которые успели бы сгореть за отведенное им

время. Для устранения данной проблемы используется нагревание мазута острым паром, который в свою очередь несет ряд негативных последствий [2].

Во-первых, образование скоплений воды – линз, которые прерывают процесс горения, насыщают мазут водой на 10-20%, при возобновлении горения может даже произойти взрыв.

Во-вторых, повышается количество оксида углерода, оксида азота, сажи в продуктах сгорания.

В-третьих, из-за сложности нагревания такого мазута снижается КПД котла [3].

Для решения подобных проблем были применены аппараты вихревого слоя, которые с помощью создаваемого кавитационного эффекта на жидкую среду (создаваемые водяные линзы) и кинетических соударений между рабочими телами воздействуют на мазутную смесь с частицами, диаметром близким к 1 мкм.

По мере развития искусственного интеллекта невозможно упустить повышение эффективности использования мазутных смесей, избавленных от огромных частиц. Дальнейшая эксплуатация не всегда подразумевает полный объем используемого мазута. Для повышения эффективности подготовки мазута к дальнейшему сгоранию и анализа, можно использовать искусственный интеллект, который будет анализировать готовый состав на преобладание маленьких или крупных частиц. Дальнейшее использование данного анализа позволяет выбрать наименее тепло- и энергозатратный способ нагревания и сжигания мазута.

Технология машинного обучения [4] известна сбором данных и использованием их для прогнозирования и анализа того или иного явления. Так как цель энергетики повысить КПД котла и уменьшить затраты, прекрасным вариантом стало бы внедрение анализа трат энергии для разогрева мазута разными способами и анализ влияния состава частиц на этот процесс.

Спрогнозированная модель в конечном итоге дает подробные математические данные для выявления наилучшего способа нагревания и эксплуатации топлива в той или иной ситуации. В локальном анализе, это бы немного повысило КПД и эффективность, но в продолжительном действии – сумма таких маленьких повышений дает весомый результат.

### **Источники**

1. Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия//Москва. Стандинформ. ГОСТ 10585-99 – 2009. – п. 5.9.

2. М.Ф. Шагеев, Э.М. Хайриева, Р.Ф. Хуснутдинов ХРАНЕНИЕ ОБВОДНЕННОГО МАЗУТА В РЕЗЕРВУАРЕ // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 8. – С. 93-94;

3. Особенности использования мазута в качестве резервного топлива / А. В. Заединов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 47 (233). — С. 37-39. — URL: <https://moluch.ru/archive/233/54169/> (дата обращения: 03.03.2023).

4. Лимановская О.В., Алферьева Т.И. Основы машинного обучения // учебное пособие. 2020. С. 1 – 6.

УДК 654.924.5

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СРЕДСТВ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Т.А. Антонов

Науч. рук. док. техн. наук, профессор К.Х. Гильфанов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

timurantonov14@gmail.com

Статья посвящена вопросам проектирования средств пожарной сигнализации. Приведены шаги действий, которые необходимы для проектирования системы безопасности. Описаны требования, которые должны быть учтены при проектировании.

**Ключевые слова:** система пожарной сигнализации, безопасность, проектирование системы безопасности, тестирование оборудования, пожарная опасность.

## DESIGN OF FIRE ALARM SYSTEMS

T.A. Antonov

KSPEU, Kazan, Russia

timurantonov14@gmail.com

The article is devoted to the design of fire alarm systems. The steps of actions that are necessary for the design of a security system are given. The requirements that must be taken into account in the design are described.

**Keywords:** fire alarm system, security, security system design, equipment testing, fire hazard.

Система пожарной сигнализации — это критически важная система безопасности, которая обеспечивает раннее обнаружение и быстрое реагирование на пожары [1]. Проектирование такой системы требует специальных знаний и навыков в области инженерии безопасности и электрических систем.

Первым шагом в проектировании системы пожарной сигнализации является оценка рисков и требований безопасности, определение категории здания и класса функциональной пожарной опасности. Необходимо провести анализ окружающей среды, определить пожароопасные зоны и выбрать наиболее подходящие датчики для детектирования пожаров. Кроме того, необходимо определить количество датчиков и разместить их в наиболее критических местах. Также необходимо провести анализ потенциальных пожароопасных мест и сформулировать план действий. Этот план должен включать полное обоснование требуемой системы и процедур для аварийных ситуаций.

Вторым шагом является выбор и установка оборудования. Обычно системы пожарной сигнализации включают в себя датчики дыма, тепла и газа, контроллер, уведомительные устройства, такие как световые и звуковые, и диспетчерскую панель управления [2]. Для надежности и безопасности системы необходимо выбирать оборудование высокого качества и проверенных производителей.

Третий шаг - это проведение тестирования и настройка системы. После установки необходимо провести тестирование оборудования и проверить его работоспособность в различных условиях. Также необходимо настроить систему пожарной сигнализации, чтобы она соответствовала требованиям безопасности и предотвращала ложные срабатывания.

После проведения тестирования, инсталляции и настройки системы необходимо провести ряд обязательных процедур поддержки. Эти процедуры включают в себя ежедневное тестирование системы, проверку истории аварий и ошибок, а также обновление программного обеспечения и технологических модулей [3].

Необходимо разработать план эвакуации и провести обучение сотрудников. В случае возникновения пожара сотрудники должны знать, как использовать систему пожарной сигнализации и как эвакуироваться в безопасное место.

Кроме основных шагов, которые были описаны выше, проектирование системы пожарной сигнализации также включает в себя несколько других аспектов:

1. Интеграция с другими системами безопасности: система пожарной сигнализации должна быть интегрирована с другими системами безопасности, такими как системы пожаротушения, системы контроля доступа и системы видеонаблюдения [4]. Это позволяет создать единую систему безопасности, которая работает на высоком уровне эффективности;

2. Резервное копирование: система пожарной сигнализации должна иметь резервное копирование, чтобы гарантировать, что она будет работать в случае сбоя основной системы. Это может включать в себя резервирование электропитания, дублирование оборудования и другие методы;

3. Обучение персонала: сотрудники должны быть обучены использованию системы пожарной сигнализации и знать, как реагировать на сигналы [5]. Это поможет обеспечить быструю реакцию на пожар и минимизировать риски для жизни и имущества;

4. Регулярное обслуживание: система пожарной сигнализации должна регулярно проходить техническое обслуживание и проверки. Это поможет гарантировать, что система работает должным образом и способна быстро реагировать на пожар. В целом, проектирование системы пожарной сигнализации требует внимания к деталям и высоких профессиональных знаний.

В заключении, проектирование системы пожарной сигнализации - это сложный и ответственный процесс, который требует внимания к мелочам и знаний в области инженерии безопасности. Но, при правильном подходе, это поможет обеспечить безопасность жизни и имущества и сократить риски возникновения пожара.

### **Источники**

1. Ворона В.А. Технические системы охранной и пожарной сигнализации / В.А. Ворона, В.А. Тихонов. М.: «Горячая линия – Телеком», 2018. – 376 с.

2. Любимов М.М. Пожарная и охранно-пожарная сигнализация. Проектирование, монтаж, эксплуатация и обслуживание: Справочник / М.М. Любимов - 3-е изд. - М.: ПожКнига, 2010. - 336 с.

3. Бурькова Е.В. Системы охранно-пожарной сигнализации [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е. В. Бурькова; – Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 134 с.

4. Синилов В.Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации: учебник для нач. проф. образования / В. Г. Синилов. — 5-е

изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 512 с.

5. Бабуров В.П. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматическая пожарная сигнализация : учебник : в 2 ч. / В. П. Бабуров, В. В. Бабуринов, А. В. Фёдоров и др. ; под ред. В. П. Бабурова, В. И. Фомина. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 270 с.

УДК 004.8

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И НЕЙРОНЫХ СЕТЕЙ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

А.Х. Баймурзин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.М. Сафаров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

albertkhamitovich@gmail.com

В данной статье мы рассмотрим реализацию внедрения искусственного интеллекта и нейронных сетей в контексте автоматизации промышленности и применения передовых информационных технологий.

**Ключевые слова:** Автоматизация, искусственный интеллект, нейронные сети, информатизация.

## **APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NEURAL NETWORKS IN AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

A.H. Baimurzin

KSPEU, Kazan, Russia

albertkhamitovich@gmail.com

In this article, we will consider the implementation of the introduction of artificial intelligence and neural networks in the context of industrial automation and the use of advanced information technologies.

**Keywords:** Automation, artificial intelligence, software, technological process.

В современную эпоху технологий автоматизация и искусственный интеллект стали жизненно важными компонентами промышленности. Искусственный интеллект и нейронные сети способны автоматизировать



сложные технологические процессы, минимизируя временные затраты и ошибки. Большое количество компаний топливно-энергетического комплекса ТЭК внедряют искусственный интеллект как часть своих технологических процессов и производства, чтобы максимизировать эффективность и минимизировать затраты. Так компании «Газпром нефть», «КамАЗ», «ММК», «РОСАТОМ» активно внедряют технологии интеллектуального анализа данных, автоматизированных роботов и видео аналитику на основе нейронных сетей [1].

Как же устроен искусственный интеллект и нейронные сети? ИИ наиболее известен тем, что используется в компьютерном программировании, робототехнике, системах автоматического производства и управления технологическими процессами. Это включает в себя использование компьютеров, которые запрограммированы с помощью алгоритмов, позволяющих им извлекать уроки из данных, которые они усваивают во время выполнения задачи или решения проблемы. Это может быть что угодно — от программного обеспечения для распознавания речи до автономных автомобилей и даже инструментов медицинской диагностики [2]. Что касается промышленной автоматизации, искусственный интеллект используется для относительно простых задач, таких как планирование производства или распределения продуктов или материалов, но также более широко применяется в приложениях для прогнозирования технического обслуживания в промышленном мире, таких как мониторинг оборудования или задачи профилактического обслуживания заводского оборудования. Один из успешных примеров реализации ИИ является совместная разработка специалистов Центра компетенций НТИ на базе МЭИ, получившая название ng.Grace. Функционал ng.Grace заключается в том, что пользователь загружает полноценную схему подстанции, а система в свою очередь обрабатывает ее, используя алгоритмы обработки, в результате мы получаем структурную схему программно-технического комплекса и алгоритмы линейной защиты [3].

Нейронные сети также становятся все более важными элементами в автоматизации производственных процессов — особенно тех, которые связаны с большими объемами данных и требуют возможностей быстрой обработки. Нейронные сети копируют некоторые аспекты структуры человеческого мозга, соединяя слои нейронов, которые общаются между собой с помощью электрических сигналов, получая входные данные и отправляя выходные сигналы на основе сохраненной информации, которую они извлекли из ранее накопленного опыта — в данном случае

это опыт, который они получают, работая в автоматизированной среде в промышленном масштабе. Например, нейронные сети могут использоваться для выявления закономерностей между различными типами поступающих данных, такими как коды продуктов, измерения веса продукта и ориентация этикетки, что позволяет машинам точно сортировать продукты в соответствующие контейнеры для маркировки без какого—либо ручного вмешательства, требуемого работниками, а также учитывать любые изменения, внесенные на одной и той же производственной линии.

Внедряя эти технологии, компании могут быстро и эффективно автоматизировать процессы с минимальным вмешательством человека, главным образом благодаря точности искусственного интеллекта, когда речь идет о прогнозировании событий на основе ранее собранных наборов данных, что позволяет принимать точные решения вместо того, чтобы полагаться исключительно на интуицию без каких—либо материальных доказательств, подтверждающих неточные решения, обычно принимаемые вручную в рабочих условиях.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что применение искусственного интеллекта и нейронных сетей в автоматизации технологических процессов в производственной отрасли полностью выгодно любой организации, решившей внедрить систему на протяжении всего производственного процесса, что часто приводит к значительной экономии накладных расходов и одновременному повышению удовлетворенности сотрудников, так АНО «Цифровая экономика» предоставила отчет за 2022 год среди промышленных компаний топливно-энергетического цикла о 5% росте рентабельности информационных технологий.

### **Источники**

1. Ефимова Софья Андреевна РАЗВИТИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА // Цифровая наука. 2020. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения: 03.03.2023).

2. Подольский Артам Константинович Применение методов искусственного интеллекта в нефтегазовой промышленности // Современная наука. 2016. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-metodov-iskusstvennogo-intellekta-v-neftegazovoy-promyshlennosti> (дата обращения: 03.03.2023).

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

УДК 62-5

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ РАСПОЗНАВАНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ РОБОТА С ВЫБОРОМ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПОДСТАНЦИЯХ**

А.В. Богданов

Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Богданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

Статья посвящена проблеме выбора оптимального варианта способов обнаружения местоположения робота, предназначенного для мониторинга состояния электрических подстанций.

**Ключевые слова:** робот, определение местоположения, мониторинг состояния подстанций.

## **ANALYSIS OF WAYS TO LOCATE THE ROBOT WITH THE CHOICE OF THE OPTIMAL OPTION FOR USE AT SUBSTATIONS**

A.V. Bogdanov

KSPEU, Kazan, Russia

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

The article is devoted to the problem of choosing the optimal option for detecting the location of a robot designed to monitor the condition of electrical substations.

**Keywords:** Robot, location detection, trainee training, monitoring the condition of substations.

С развитием технологий все более доступными становятся автоматизированные устройства, способные выполнять определенные действия без участия человека, – роботы. Благодаря этому можно сделать процесс мониторинга состояния подстанции автономным.

Но для того, чтобы робот эффективно исполнял поставленные задачи и давал информацию о состоянии конкретных узлов, необходима система, определяющая его местоположение в любой промежуток времени.

В ходе данной работы изучены способы определения позиции устройства, их плюсы и минусы и сделаны выводы.

Один из самых известных методов – одометрия. Положительным и отрицательным фактором данного метода является его простота: система отслеживает угол поворота колеса и просчитывает пройденное расстояние (рис.1). Данные расчеты приближительны, они не могут определить точное местоположение робота [1].

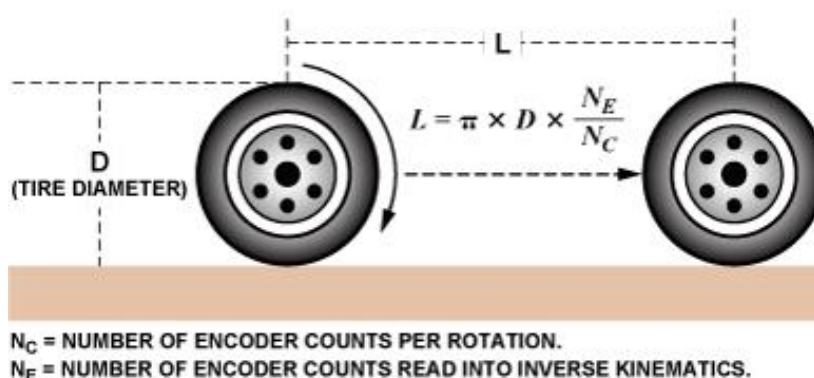


Рис.1. Принцип работы одометрии

Второй метод – SLAM (одновременная локализация и построение карты). Принцип работы этого метода намного сложнее, чем у одометрии, однако он позволяет наиболее точно определить позицию: система, оснащенная ROS (Robot Operating System) при помощи внешних датчиков, к примеру, лидаров или камер, строит карту местности в режиме реального времени (рис.2), а после этого, используя метод Монте-Карло (MCL), оценивает положение и ориентацию робота в момент его движения, сравнивает полученные сведения с предполагаемой локализацией устройства и определяет точное местоположение [2]. Минус данного метода состоит в высоких требованиях к производительности в реальном времени из-за вычисления большого объема данных [3].

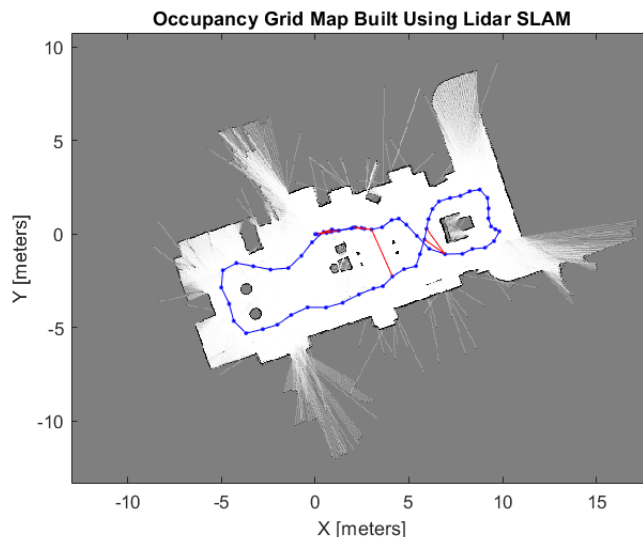


Рис.2. Построение карты при помощи лидара

Третий метод – GPS. Данный способ не так распространен, как SLAM и одометрия – из троих он самый простой, но в то же время самый непрактичный, так как почти бесполезен в закрытых помещениях. Он может определить здание, в котором находится робот, но этаж и точное местоположение – нет [4].

Итак, одометрия – простой и универсальный способ, однако его точности недостаточно, GPS может определить только примерное местоположение, чем уступает обоим вариантам, SLAM же при своих больших требованиях к производительности системы способен с высокой точностью определять позицию устройства.

Исходя из этого, можно прийти к выводу, что наиболее подходящий вариант определения местоположения робота на подстанции – SLAM с использованием лидара или камеры, а также метода Монте-Карло, эта связка даст наиболее точное расположение устройства.

### Источники

1. Одометрия (метод) [Электронный ресурс]. URL: <https://robocraft.ru/technology/736> (дата обращения: 02.03.2023).
2. MCL (метод) [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/274975/> (дата обращения: 15.02.2023).
3. SLAM (метод) [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/560856/> (дата обращения: 25.02.2023).
4. GPS (метод) [Электронный ресурс]. URL: <https://gpscool.ru/sistemy-gps-slezheniya/globalnaya-sistema-pozitsionirovaniya-gps> (дата обращения: 02.03.2023).

## ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

А.В. Богданов

Науч. рук. канд. техн. наук А. Н. Богданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

Статья посвящена обзору функций робота, благодаря которому можно автоматизировать электрические подстанции.

**Ключевые слова:** автоматизация, робот, электрические подстанции.

## APPLICATION OF ROBOTS FOR AUTOMATION OF ELECTRICAL SUBSTATIONS

A.V. Bogdanov

KSPEU, Kazan, Russia

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

The article is devoted to an overview of the functions of the robot, thanks to which it is possible to automate electrical substations.

**Keywords:** automation, robot, electrical substations.

Электрические подстанции – важный узел электроснабжения крупных промышленных, сельскохозяйственных объектов и жилых комплексов, поэтому необходимо, чтобы они работали бесперебойно.

На самих подстанциях для этого присутствуют сотрудники, которые следят за состоянием оборудования, делая постоянные обходы и наблюдая за показаниями приборов [1].

Однако сам процесс требует присутствия сразу нескольких специалистов, что увеличивает влияние человеческого фактора. Решить эту проблему можно при помощи роботов. Суть метода заключается в том, что роботы, оборудованные системой определения местоположения [2], датчиками и камерами, будут ездить по подстанции, наблюдая за оборудованием при помощи камер, изображение и данные с которых будут передаваться оператору, лишь наблюдающему за процессом, но

способному влиять на самого робота в случае каких-либо непредвиденных ситуаций.

Некоторые страны, например Китай, уже используют роботов для мониторинга состояния электрических подстанций (рис.1). Они выполняют следующие функции: сбор сведений о состоянии силовых трансформаторов, температуре масла и его хроматографический анализ. При отклонениях от нормы робот сразу же отправляет информацию обслуживающему персоналу [3].



Рис.1. Робот

Однако возможности робота не заканчиваются на вышеописанных функциях: если установить тепловизор, можно выводить инфракрасное изображение, что позволит тщательно отслеживать температуры оборудования и контролировать нагрев определенных элементов [4] (рис.2).

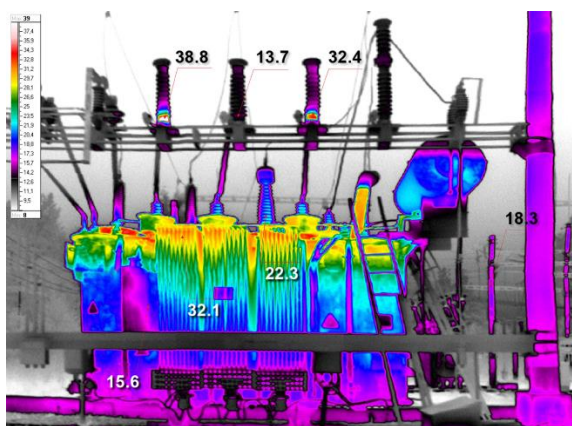


Рис.2. Изображение с тепловизора

Также при помощи видеоаппаратуры могут передаваться показания с различных не цифровых датчиков, которые не могут быть подключены к системе.

Итак, робот – практически универсальное устройство, которое снижает нагрузку на обслуживающий персонал и делает мониторинг электрических подстанций более удобным и автоматическим.

### **Источники**

1. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. Производственно-практическое пособие / В. Красник. - М.: НЦ ЭНАС, 2011. - **795** с.

2. Методы определения местоположения [Электронный ресурс]. URL: <https://temofeev.ru/info/articles/issledovanie-metodov-slam-dlya-navigatsii-mobilnogo-robotov-vnutri-pomeshcheniy-opyt-issledovaniya-r2/> (дата обращения: 15.02.2023).

3. Опыт Китая в эксплуатации роботов [Электронный ресурс]. URL: <https://proenergo.blogspot.com/2016/01/robot-on-sub-in-china.html> (дата обращения: 15.02.2023).

4. Методика обработки результатов тепловизионных обследований высоковольтного оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energyret.ru/jour/article/view/178/153> (дата обращения: 15.02.2023).

УДК 631.171

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ СБОРА УРОЖАЯ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ТЕПЛИЦ**

А.В. Богданов

Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Богданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

В статье рассматривается создание устройства автоматизации сбора урожая в теплицах без участия человека.

**Ключевые слова:** автоматизированная теплица, модуль для теплицы, автоматический сбор урожая.



# AUTOMATED HARVESTING MODULE FOR AUTONOMOUS GREENHOUSES

A.V. Bogdanov

KSPEU, Kazan

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

The article discusses the creation of a device for automating harvesting in greenhouses without human intervention.

**Keywords:** automated greenhouse, greenhouse module, automatic harvesting.

В настоящее время актуальной проблемой сельского хозяйства является уменьшение притока новых кадров. Принятие мер в виде увеличения заработной платы или предоставления льгот оказывает несущественное влияние на ситуацию, так как большинство отдает свое предпочтение городу, где сосредоточены крупные производства и предприятия.

Решение проблемы – автоматизация некоторых частей сельского хозяйства. А именно – создание модулей автоматического сбора урожая в теплицах.

На данный момент на рынке существует 2 решения: SW6010 от компании Agrobot (рис.1) и робот от компании Dogtooth technologies.



Рис.1. Робот SW6010

Оба варианта базируются на передвижной платформе, что является и плюсом, и минусом одновременно: имеется портативность и компактность, но в то же время для перемещения между объектами необходимо вмешательство человека, также у обоих вариантов отсутствует возможность собирать культуры, находящиеся на большой высоте.

В ходе анализа имеющихся вариантов, принято решение сделать конструкцию стационарной, так как это позволит собирать культуры по всей высоте теплицы. К тому же стационарная конструкция позволит снизить зависимость процесса от человека.

Однако слабые стойки теплицы не позволяют размещать на ней относительно тяжелое и громоздкое оборудование, поэтому принято решение сделать модуль на стойках (рис.2), сам же модуль состоит из 3х приводов, привод под номером 2 (ось X) – пневматический, а 1 (ось Y) и 3 (ось Z) – электрические (рис.3).

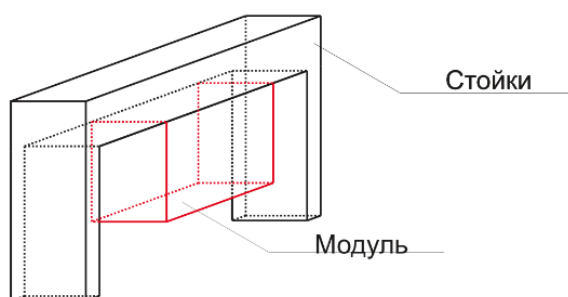


Рис.2. Упрощенный общий вид конструкции

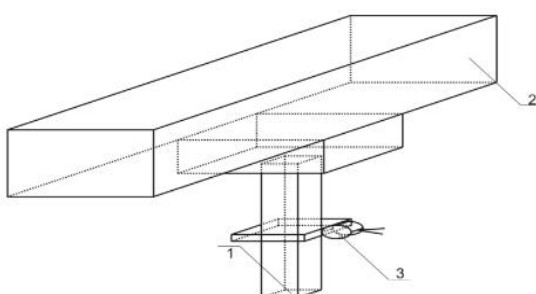


Рис.3. Конструкция модуля сбора урожая

Приводы осей Y и Z выбраны электрическими, так как они предназначены для непосредственного наведения на плод и являются короткими [1].

Привод оси X выбран пневматическим, так как: ось X самая длинная и требует соответствующей скорости передвижения по ней, также пневматический привод имеет небольшой вес и долгий срок службы, а при повреждении механизма утечка воздуха не навредит урожаю [2].

Следующий шаг в создании модуля – выбор захвата плода. Существуют различные типы захватов: двухпальный, трехпальный, захват с пятью пальцами и так далее [3]. Решено использовать пятипальный захват (рис.4), так как в конструкции необходима адаптивность под различные

виды плодов овощных и фруктовых культур, например томатов, огурцов, баклажанов, цитрусовых, а рука человека как раз может производить манипуляции над ними.

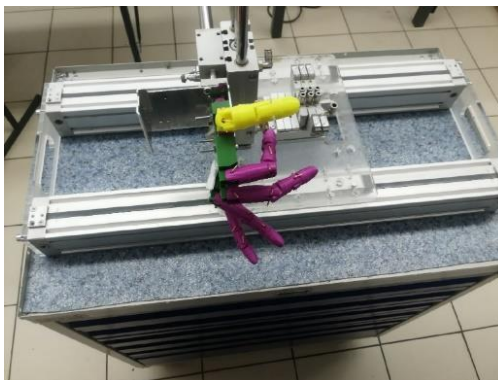


Рис.4. Конструкция прототипа модуля в сборе

Управление всем модулем сбора урожая осуществляется через контроллер, в случае нашего прототипа это микрокомпьютер RaspberryPi 4. Распознавание объектов происходит при помощи камеры и библиотеки OpenCV(рис.5).[4]

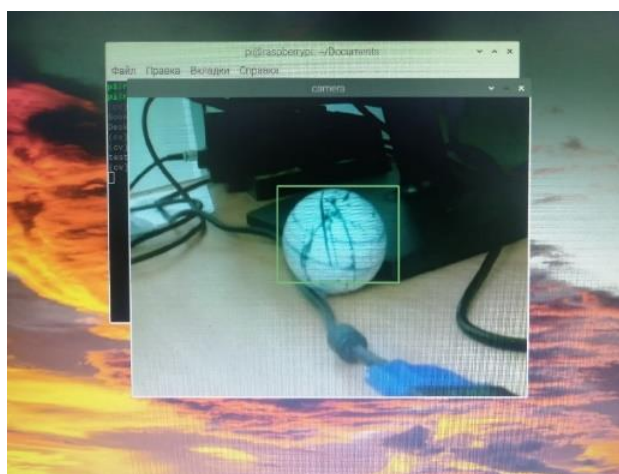


Рис.5. Распознавание объектов

На данный момент в ходе проекта собраны необходимые данные для начала отработки узлов, а также разработан и реализован прототип модуля сбора урожая для автономных теплиц.

### Источники

1. Выбор привода [Электронный ресурс]. URL: <http://www.servomh.ru/stati/dostoinstva-i-nedostatki-gidro-pnevmo-i-elektroprivodov> (дата обращения: 11.02.2023).

2. Пневматика [Электронный ресурс]. URL: <http://privod.news/news/stati/pnevmatika/> (дата обращения: 11.02.2023).
3. Выбор захвата [Электронный ресурс]. URL: <http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000016/st022.shtml> (дата обращения: 09.02.2023).
4. Установка RPI [Электронный ресурс]. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=3J4\\_z8dvn-E](https://www.youtube.com/watch?v=3J4_z8dvn-E) (дата обращения: 05.02.2023).

УДК681.516.32

## МЕТОДЫ РЕКУПЕРАЦИИ ВОЗДУХА В СИСТЕМАХ БЫТОВОГО ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ

В.Ю. Горбов

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент Н.В. Богданова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[valera322gg@gmail.com](mailto:valera322gg@gmail.com)

В статье рассмотрены методы рекуперации воздуха в системах бытового воздухооборудования. Актуальность работы заключается в необходимости более эффективного использования энергоресурсов.

**Ключевые слова:** рекуператор, воздух, теплопередача, воздухооборудование, энергия.

## AIR RECOVERY METHODS IN HOUSEHOLD AIR SUPPLY SYSTEMS

V.Y. Gorbov

KSPEU, Kazan

[valera322gg@gmail.com](mailto:valera322gg@gmail.com)

The article considers the methods of air recovery in domestic air supply systems. The relevance of the work lies in the need for a more efficient use of energy resources.

**Keywords:** recuperator, air, heat transfer, air supply, energy.

Рекуперация воздуха – это процесс переработки использованного воздуха для повторного использования. Это позволяет сэкономить энергию и снизить вредные выбросы в атмосферу. Рекуперация воздуха может быть

применена в различных отраслях, таких как промышленность, транспорт, отопление и вентиляция [1].

Существует множество методов рекуперации воздуха, которые могут быть использованы для решения различных энергетических проблем. Самыми распространенными из них являются:

- 1) Пластинчатый рекуператор;
- 2) Роторный рекуператор;
- 3) Камерный рекуператор.

Пластинчатый рекуператор является одним из самых простых устройств для сохранения тепла воздуха, так как он состоит из скопления пластин в моноблочной камере. Вытяжной воздух нагревает пластину, а поток воздуха с улицы проходит через пластины, забирая тепло себе. Преимуществом данного рекуператора является дешевизна, простота конструкции без подвижных частей. Недостатком является выделение влаги на пластинах, что может привести к остановке всей системы воздухообмена [2]. Пластинчатый рекуператор представлен на рисунке 1.

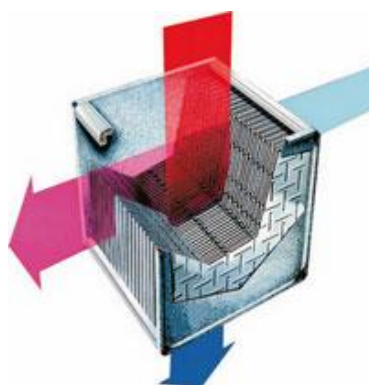


Рис. 1. Пластинчатый рекуператор

Роторный рекуператор состоит из вращающегося ротора, который своим вращением сохраняет больше тепла и влаги из вытяжного воздуха в отличие от пластинчатого рекуператора. Преимуществами является высокое сохранение тепла (пластинчатый рекуператор может сохранять от 50 – 70% тепла, а роторный от 75-90% тепла), регулирование вращения обеспечивает защиту от замерзания и изменение коэффициентов теплопередачи. Недостатком являются шумы, порождаемые вращением ротора [3]. Роторный рекуператор представлен на рисунке 2.

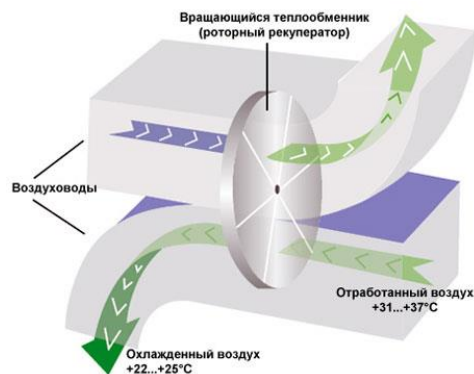


Рис. 2. Роторный рекуператор

Камерный рекуператор состоит из камеры с несколькими пластинами, которые вращаются вокруг оси. Преимуществом является высокая эффективность возврата тепла, которая составляет 80-90%. Недостаток – наличие подвижной заслонки, риск смешения воздушных потоков [4]. Камерный рекуператор представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Камерный рекуператор

Таким образом, мы можем сделать вывод, что методы рекуперации воздуха являются важным фрагментом любой системы воздухообеспечения. Также стоит уточнить, что использование любого из представленных устройств должно быть обусловлено необходимыми параметрами с учетом все их недостатки и преимущества [5].

### Источники

1. Мельников В.Д., Нестеренко Г.Б., Лебедев Д.Е., Мокроусова Ю.В., Удовиченко А. В., Проблемы, перспективы применения и методика расчета нормированной стоимости накопления электрической энергии. // Вестник КГЭУ. 2019. Т.11 №4(44). С. 30-36.

2. Немова Д.В., Системы вентиляции в жилых зданиях как средство повышения энергоэффективности. // Интернет-журнал "Строительство уникальных зданий и сооружений". 2012. №3.

3. Галкина Н.И., КПД систем вентиляции/ // Инженерный вестник Дона. 2017. №2.

4. Ситников Н.Р. Оптимизация систем вентиляции различными способами. // Научный электронный журнал «Оригинальные исследования». 2020. С. 10-19.

5. Системы вентиляции: виды, устройство, назначение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tion.ru/ventilyaciya/> – свободный.

УДК 621-313.3

## СИСТЕМА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПОЛИКЛИНИКИ

Д.А. Зеленов<sup>1</sup>, И.М. Сафаров<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р. техн. наук, профессор К.Х. Гильфанов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>dimariff@mail.ru, <sup>2</sup>ildarsafarov@inbox.ru

В статье приведены технические и экономические обоснования, которые показывают, что одно из самых рациональных решений в вопросе отопления медицинского учреждения – это модульный блок газового отопления с выносным котлом.

**Ключевые слова:** медицинское учреждение, экономическое обоснование, эффективная система отопления, теплоэнергия.

## THE POLYCLINIC'S ENERGY-EFFICIENT HEATING SYSTEM

D.A. Zelenov<sup>1</sup>, I.M. Safarov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>dimariff@mail.ru, <sup>2</sup>ildarsafarov@inbox.ru

The article provides technical and economic justifications that show that one of the most rational solutions in the issue of heating a medical institution is a modular gas heating unit with an external boiler.

**Keywords:** medical institution, economic justification, efficient heating system, heat energy.

Спецификации медицинского учреждения предъявляют строгие



требования к системам вентиляции и отопления. Задача усложняется еще и тем, что в больницах много разных палат, в каждой из которых должен поддерживаться свой микроклимат. [1]

Постоянная работа на территории России по совершенствованию конструкции котлов малой и средней мощности приведет к повышению надежности и эффективности котельных установок, сокращению сроков и стоимости строительного-монтажных работ.

Наружные котлы перспективны при создании автономных систем отопления зданий, а их преимущества перед обычными котлами очевидны:

- Низкий уровень загрязнения и шума.
- Небольшие габариты при высокой мощности.
- Отсутствие значительных затрат на обслуживание.
- Экономит полезную площадь в здании.
- Долгий срок службы - более 10 лет.

Одной из неотложных задач является создание эффективной системы отопления для планируемого строительства здания поликлиники на 200 посещений в смену. Больница требует постоянного потребления горячей воды и бесперебойного отопления в зимние месяцы. Для этого были проведены исследования на предмет потребления электроэнергии и тепловой энергии [2]. Усредненные значения по Республике Татарстан приведены на рисунках 1 и 2.

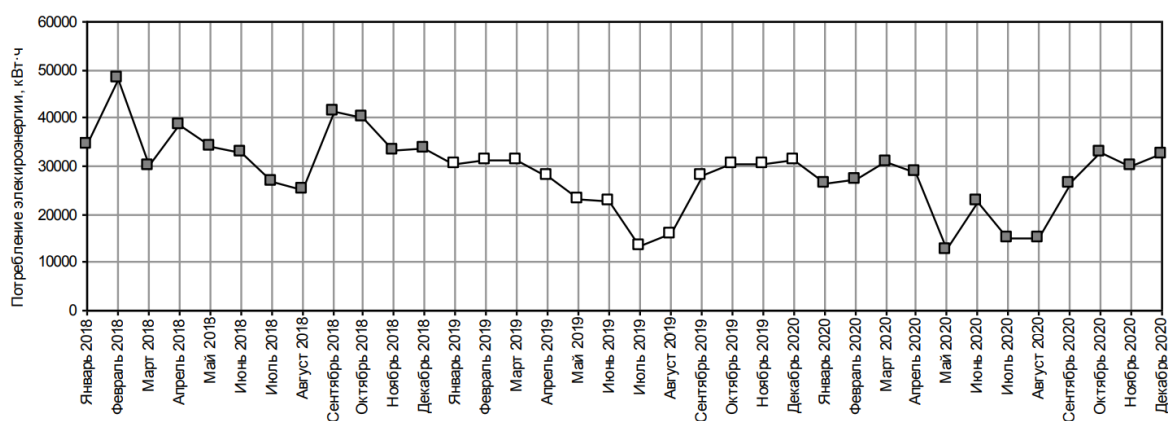


Рис. 1. Потребление электроэнергии за 2018-2020 гг.



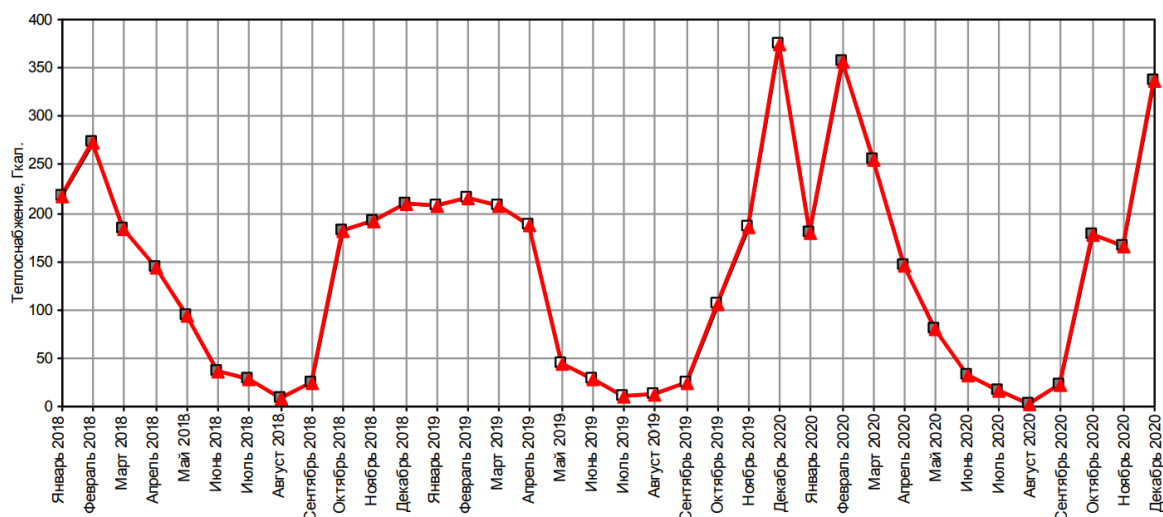


Рис. 2. Потребление тепловой энергии за 2018-2020 гг.

В статье подробно рассмотрены несколько вариантов теплогенераторов, способных обеспечить автономное, бесперебойное и эффективное отопление поликлинических корпусов. Анализ показал, что наиболее целесообразным и экономичным является модульный блок газового отопления с выносным котлом, предназначенный для нагрева теплоносителя (воды) до температуры  $95^{\circ}\text{C}$  и используемый для отопления и вентиляции закрытого типа. монтаж генераторной системы (БМГТ) [3]. Нагревательные элементы могут использоваться как автономные источники тепла. БМГТС предназначена для работы в регионах с умеренным и холодным климатом в условиях замкнутых систем отопления с подпиткой водой в ЭТЦ отапливаемого здания.

Технико-экономический анализ показал, что установка данного теплогенератора является эффективным решением, рациональность которого доказывается его сроком окупаемости капитальных вложений -5 лет [4].

### Источники

1. Долгих Е.В. Анализ потребления энергоресурсов и повышение энергетической эффективности детской поликлиники № 4 Белгорода.
2. Хомич А.П. Особенности проектирования систем отопления и вентиляции медицинских учреждений (больницы, поликлиники) / А. П. Хомич, С. А. Смольников // Молодой ученый. – 2021. – № 10(352). – С. 43-48. – EDN XYUJVM.
3. Долгих Е.В. Анализ потребления энергоресурсов и повышение энергетической эффективности детской поликлиники № 4 Белгорода.

4. Абдразаков Ф.К. Применение высокоэффективных блочно-модульных газовых теплогенераторов с котлами наружной установки / Ф.К. Абдразаков, А.В. Поваров, В.А. Стрельников // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды.

УДК 621.331

## ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ VAV-СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

А.Р. Казиханов

Науч. рук. к.т.н., доцент И.М. Сафаров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Aidan220601@mail.ru

В данной статье описан принцип работы VAV-системы вентиляции, приведены преимущества использования данной системы. Приведены расчеты на примере квартиры в 100 м<sup>2</sup> с использованием VAV-системы и без ее использования.

**Ключевые слова:** VAV-система, вентиляция, система автоматического регулирования.

## BENEFITS OF USING A VAV VENTILATION SYSTEM

A.R. Kazikhanov

KSPEU, Kazan, Russia

aidan220601@mail.ru

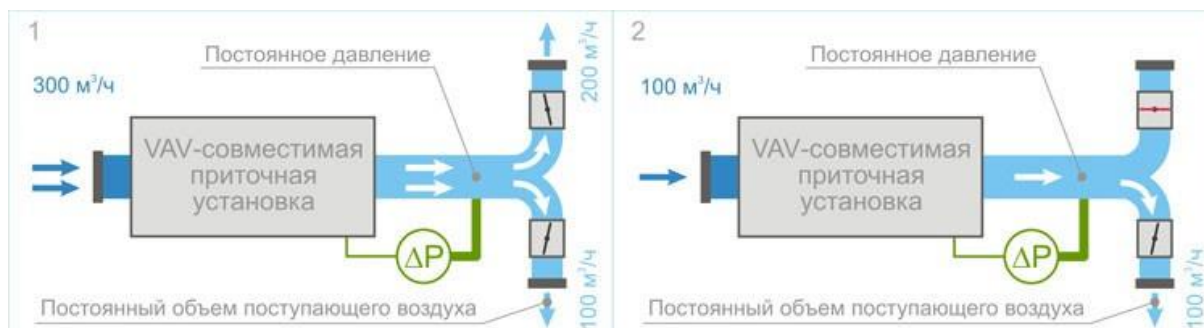
This article describes the principle of operation of the VAV ventilation system, shows the advantages of using this system. Economic calculations are given on the example of an apartment of 100 m<sup>2</sup> with and without a VAV system.

**Keywords:** VAV-system, ventilation, automatic control system.

VAV (англ. *Variable Air Volume*) – вентиляционная система с автоматическим изменением расхода воздуха. Данная система обеспечивает независимую вентиляцию отдельных помещений с необходимой для этого скоростью. Для этого к аппарату вентиляции присоединяются воздухопроводы, для каждого отдельного помещения. С помощью дифференциального датчика давления, установленный на плате контроллера, автоматика определяет давление в помещении и

автоматически выравнивает его путем увеличения или уменьшения оборотов вентилятора. В этом случае работа приточного и вытяжного вентилятора остается синхронной [1].

Принцип работы VAV–системы представлен на рисунке.



Принцип работы VAV-системы

На рисунке продемонстрирована работа установки в режиме максимальной и ограниченной мощности. В случае, когда необходимо одновременно включить вентиляцию в нескольких помещениях, заслонки каждого воздуховода полностью становятся в открытое положение и давление в них уменьшается. Данный процесс фиксируется специальным датчиком и агрегат увеличивает скорость вентилятора, чтобы обеспечить необходимым количеством воздуха все помещения. В ночное время часть клапанов становятся в закрытое положение, а мощность прибора снижается.

Для примера рассмотрим вентиляцию в квартире в 100 м<sup>2</sup>. В таблице 1 приведены расчеты расхода воздуха без использования VAV-системы, а в таблице 2 с использованием VAV-системы [2].

Таблица 1.

Эксплуатация вентиляции без VAV-системы

Помещение		Объем воздуха, м <sup>3</sup> /час	Эксплуатация вентиляции без VAV-системы				Средний объем воздуха, м <sup>3</sup> /час
Вид	Площадь		7.00 - 10.00	10.00 - 18.00	18.00 - 23.00	23.00 - 7.00	
Спальня	25	113	100%	100%	100%	100%	398
Кабинет	25	60	100%	100%	100%	100%	
Зал	50	225	100%	100%	100%	100%	
Расход в период времени			398	398	398	398	

Таблица 2.

## Эксплуатация вентиляции с VAV-системой

Помещение		Объем воздуха, м <sup>3</sup> /час	Эксплуатация вентиляции с VAV-системой				Средний объем воздуха, м <sup>3</sup> /час
Вид	Площадь		7.00 - 10.00	10.00 - 18.00	18.00 - 23.00	23.00 - 7.00	
Спальня	25	113	20%	20%	20%	100%	186
Кабинет	25	60	20%	100%	20%	100%	
Зал	50	225	100%	20%	100%	20%	
Расход в период времени			260	128	260	170	

Из представленных данных видно, что применение VAV-системы снижает выработку электроэнергии до 50%, так как пользователь сам выбирает помещения, которые нуждаются в вентиляции, и в таком случае отсутствуют лишние потери электроэнергии на помещения, в которых нет необходимости вентиляции.

### Источники

1. Гусячкин А.М., Нуриев Р.Р. Критерий выбора энергосберегающих мероприятий // Вестник КГЭУ. 2012. № 1 (12). С. 101-105.
2. VAV-система вентиляции [Электронный ресурс]. URL: [https://turkov.ru/info/technical/vav\\_sistema/](https://turkov.ru/info/technical/vav_sistema/) (дата обращения 02.03.23).

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ РАСХОДА ВОЗДУХА ПО КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В УХОДЯЩИХ ГАЗАХ КОТЛА

Г.А. Крылов<sup>1</sup>, С.В. Гаврилова<sup>2</sup>, Я.К. Старостина<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент В.И. Доманов

<sup>1,2,3</sup> ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Ульяновск.

krgrwork@mail.ru<sup>1</sup>, s.gavrilova.1990@mail.ru<sup>2</sup>, yaroslava.starostina@bk.ru<sup>3</sup>

В работе описываются результаты и выводы из проведенного исследования систем автоматического регулирования расхода воздуха с коррекцией по концентрации кислорода в уходящих газах или с корректирующим контуром, включающим датчик концентрации оксида углерода. Исследование произведено с применением методов математического моделирования в программе «Simintech». Проведенное исследование показывает, в каких случаях целесообразно применение конкретного вида коррекции.

**Ключевые слова:** расход воздуха, горелочное устройство, потери тепла, регулирование соотношения газ-воздух, коэффициент избытка воздуха.

## ANALYSIS OF METHODS FOR CORRECTION OF AIR FLOW BY THE CONCENTRATION OF COMBUSTION PRODUCTS IN BOILER EXHAUST GASES

G.A. Krylov<sup>1</sup>, S.V. Gavrilova<sup>2</sup>, Ya.K. Starostina<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>UISTU, Ulyanovsk, Russia

<sup>1</sup>krgrwork@mail.ru, <sup>2</sup>s.gavrilova.1990@mail.ru, <sup>3</sup>yaroslava.starostina@bk.ru

The study describes the results and conclusions from the study of automatic air flow control systems with correction for the oxygen concentration in the exhaust gases or with a correction circuit that includes a carbon monoxide concentration sensor. The study was carried out using the methods of mathematical modeling in the Simintech program. The conducted research shows in which cases it is advisable to use a particular type of correction.

**Keywords:** air flow, burner, heat loss, gas-air ratio control, excess air ratio.

Основным топливом для теплогенерирующих установок в России является природный газ. Экономичное и эффективное сжигание природного газа обеспечивается применением устройств регулирования соотношения газа и воздуха. На полное сгорание 1 м<sup>3</sup> газового топлива

требуется определенное расчетное количество воздуха. Однако, на практике, расход воздуха берут с увеличением. [1] Коррекция соотношения может осуществляться по содержанию в продуктах сгорания кислорода или же оксида углерода. Кислород является показателем избыточного количества воздуха, появление в продуктах сгорания оксида углерода свидетельствует о недостатке воздуха. Оптимальный избыток воздуха соответствует концентрации кислорода в продуктах сгорания равной 3-4 %. [1]

Тепловые потери в котлах рассчитываются по методике М.Б. Равича. [2] Формула расчета суммарных тепловых потерь приводится ниже:

$$\sum q_n = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \%$$

Для котлоагрегата, использующего газовое топливо и предназначенного для подогрева воды в системах теплоснабжения определяющими являются тепловые потери:  $q_2$  – потери тепла с уходящими газами, %.  $q_3$  – потери тепла с химическим недожогом (неполное сгорание топлива, связанное с недостатком поданного окислителя).

Потери тепла с уходящими газами определяются по их температуре  $T_{yx.g}$  и по концентрации  $CO_2$ ,  $O_2$  в общем объеме продуктов сгорания и определяются в соответствии с формулами:

$$q_2 = \frac{T_{yx.g} - 0,85t_{xg}}{T_{max}} [C + (h - 1) \cdot K \cdot B] \cdot 100\%$$

$$h = \frac{100 - (CO_2 - O_2)}{100 - (CO_2 - O_2) - 3,76O_2}$$

Потери тепла с химическим недожогом определяются по концентрации в уходящих газах следующих продуктов сгорания:  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ . Они могут быть найдены исходя из соотношений ниже:

$$q_3 = 3,02 \cdot CO \cdot h$$

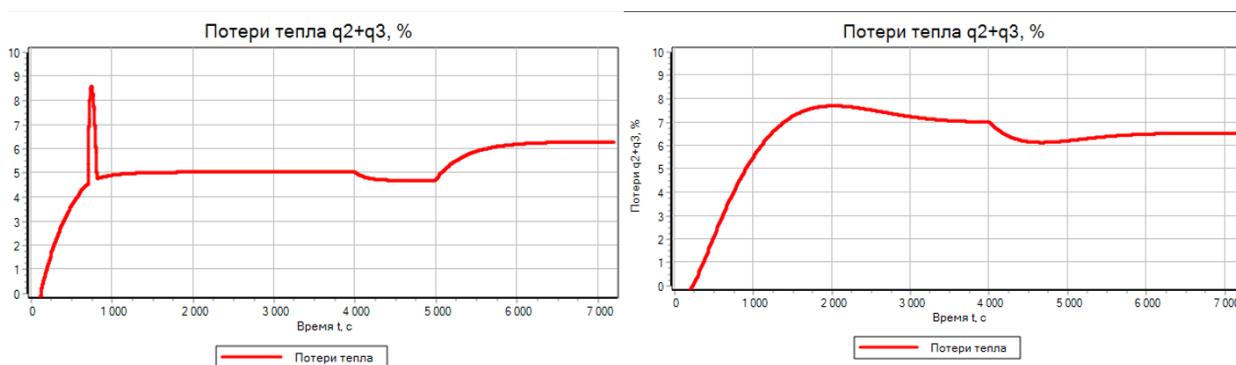
$$h = \frac{CO_2 \max}{CO_2 + CO + CH_4}$$

Для моделирования процессов водогрейного котла была построена математическая модель, включающая каналы расход воздуха – температура уходящих газов  $T_{yx,2}$ , расход воздуха – концентрация кислорода  $O_2$ , расход газа – концентрация кислорода  $O_2$ , расход воздуха – разрежение, разрежение – концентрация кислорода  $O_2$ . [3] Были введены дополнительные каналы, определяющие соотношение между расходом газа и воздуха и концентрации двуокиси углерода  $CO_2$  и окиси углерода  $CO$ . Дополнительно введен канал коэффициент избытка воздуха – концентрация метана  $CH_4$ , не принявшего участия в горении.

Для оценки тепловых потерь теплогенератора был введен программный блок, осуществляющий расчет текущих значений суммы потерь по методике Равчия М.Б. При этом по текущим показателям оценивается сумма потерь тепла с уходящими газами  $q_2$  от химической неполноты сгорания  $q_3$ . Полный анализ КПД котлоагрегата (включающий потери тепла в окружающую среду  $q_5$ ) для целей исследования избыточен, так как определяющими факторами являются описанные выше тепловые потери.

Для анализа контура коррекции была построена САР расхода воздуха котла, с введенным корректирующим сигналом (концентрация  $CO$  или  $O_2$ ).

В установившемся режиме система поддерживает концентрацию кислорода равной 3%, или же обеспечивает отсутствие в уходящих газах окиси углерода. Результаты математического моделирования приведены ниже:



Результаты математического моделирования, слева – при коррекции по  $CO$ , справа – при коррекции по  $O_2$

Видно, что система с коррекцией по  $CO$  обладает низкой устойчивостью, однако, обеспечивает более высокий КПД, ввиду снижения тепловых потерь. Система целесообразна к применению на

котлах высокой мощности с низким аэродинамическим сопротивлением топки и газоходов.

### **Источники**

1. Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. Основы практической теории горения: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1986. – 312 с.

2. Джежора С.Н. Особенности определения КПД котельного агрегата по методике М.Б. Равича при сжигании различных топлив / Актуальные проблемы энергетики, материалы 70-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Минск: БНТУ, 2014. – С. 146-147.

3. Назаров В.И., Буров А.Л. Обоснование схемы корректирующего контура автоматической системы регулирования расхода общего воздуха котла / Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ, № 2, 2013. – С.75-79.

УДК 007.51

## **ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В АСУТП И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УСТРОЙСТВ В НЕЙ ПО ОРС СЕРВЕРУ**

А.М. Муратова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент О.В. Борисова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

adelamuratova59@gmail.com

В статье рассмотрен вариант решения таких задач, как: передача данных в автоматизированных системах управления технологическим процессом (АСУТП), организация единой системы, управляющей всеми устройствами на производстве посредством использования ОРС сервера. Также описано различие между серверами ОРС DA и ОРС UA.

**Ключевые слова:** автоматизация, данные, стандарт ОРС, клиент, сервер, SCADA-система.



# ISSUES OF ORGANIZING DATA TRANSFER TO THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM AND THE INTERACTION OF DEVICES IN THEM VIA THE OPC SERVER

A.M. Muratova  
KSPEU, Kazan, Russia  
adelamuratova59@gmail.com

The article considers a variant of solving such tasks as: data transmission in automated process control systems (APCs), the organization of a single system that controls all devices in production through the use of an OPC server. The difference between OPC DA and OPC UA servers is also described.

**Keywords:** automation, data, OPC standard, client, server, SCADA system.

В 21 веке невозможно представить производственный процесс без использования технологий, обеспечивающих автоматизацию работ с устройствами и данными. Внедрение новых приборов и других средств, от которых необходимо получать информацию о качестве и состоянии как всего процесса в целом, так и о каждом оборудовании в отдельности, увеличивает объем обрабатываемой информации. Соответственно, появляется необходимость сгруппировать поток данных в единую систему. Одна из наиболее известных программ для таких задач это OPC сервер.

OPC сервер представляет собой ПО (программное обеспечение), преобразующее данные от устройства или системы в формат OPC для последующей работы с ними [1]. Другими словами, он выступает программным «шлюзом» между верхним и нижним уровнями АСУ (автоматизированная система управления). Основными понятиями в устройстве работы стандарта OPC являются сервер и клиент: первое является источником информации, а второе приемником информации.

Для работы с сервером необходимо запустить его и установить связь с заранее выбранной SCADA программой, указать аппаратную конфигурацию системы, описать всю систему, то есть все технологические объекты в понятном для программы виде, сохранить созданный проект и в завершении - организовать путь к информации для OPC клиента.

Для понимания механизма организации работы сервера рассмотрим пример обработки информации в системе автоматизированного управления. В качестве источника данных для OPC сервера выступают датчики, установленные на технологических объектах. Дальше информация поступает по протоколу обмена в устройство, с которым

устанавливается связь и на котором установлены база данных и OPC-клиент. В роли OPC-клиента чаще всего выступает SCADA-система, при помощи которой производится протоколирование результатов выполнения технологического процесса в базу данных [2]. Большинство реализованных OPC-серверов создают для каждого подключаемого к серверу клиента новый канал связи или нить [3]. Также достоинством является гибкость использования технологии OPC: возможны разные комбинации связей серверов и клиентов (см рисунок).



Схемы подключения OPC серверов и клиентов

Существуют два OPC сервера: DA (Data Access) и UA (Unified Architecture). Главное их различие состоит в том, что у OPC DA есть существенный недостаток: во времена его разработки он был построен на современных Windows-технологиях: OLE, ActiveX, COM/DCOM, но с тех пор в отрасли прошли изменения и большое распространение получили другие ОС и технологии, поэтому технологию OPC сделали платформонезависимой и разработали стандарт OPC UA на открытых кроссплатформенных технологиях [4].

Подводя к итогу, можем сказать, что OPC сервер является многофункциональным и удобным способом обмена информацией для применения как в небольших системах автоматизации, так и в крупных многоуровневых системах. Однако у любого ПО есть и минусы, в нашем случае это - сложность процесса настройки сервера, неизбежная работа с привязками тегов, так как это должно делаться вручную. К тому же, в подавляющем большинстве случаев на каждый ПК будет необходимо приобретать отдельную лицензию.

### Источники

1. Пермитин Б.В. Обзор технологий OPC-серверов и OPC-туннелей / Б.В. Пермитин, И.В. Чичерин, О.В. Любимов // Сборник материалов XII всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с

международным участием, Кемерово, 2020. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2020. – С. 211109.1-211109.5.

2. Ногаев А.А. РАЗРАБОТКА СИСТЕМНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗИ ОРС-СЕРВЕРА С БАЗОЙ ДАННЫХ / А.А. Ногаев // Решетневские чтения. – 2014. – Т. 2 – С. 199-201. – ISSN 1990-7702

3. Халимов Р.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРС-СЕРВЕРА НА ПРИМЕРЕ SCADA-СИСТЕМЫ INTOUCH / Р.М. Халимов // Альманах современной науки и образования. – 2012. – № 4. – С. 225-227. – ISSN 1993-5552

4. IPC2U: сайт. – URL: <https://ipc2u.ru/articles/prostye-resheniya/prosto-o-standartakh-ors-da-i-ors-ua/> (дата обращения: 05.03.2023)

УДК681.516.32

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ LORAWAN В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ**

В.И. МЫЛЬНИКОВ

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент Н. В. Богданова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mylnikov-vadim@mail.ru

В статье рассмотрена технология беспроводной связи LoRaWAN, ее технические характеристики и применимость в системах оперативного дистанционного контроля (СОДК). Актуальность работы заключается в необходимости более эффективного использования бюджетных ресурсов.

**Ключевые слова:** диспетчеризация, LoRaWAN, LPWAN, инфраструктура, энергия.

## **USE OF LORAWAN TECHNOLOGY IN DISPATCHING SYSTEMS**

V.I. Mylnikov

KSPEU, Kazan, Russia

mylnikov-vadim@mail.ru

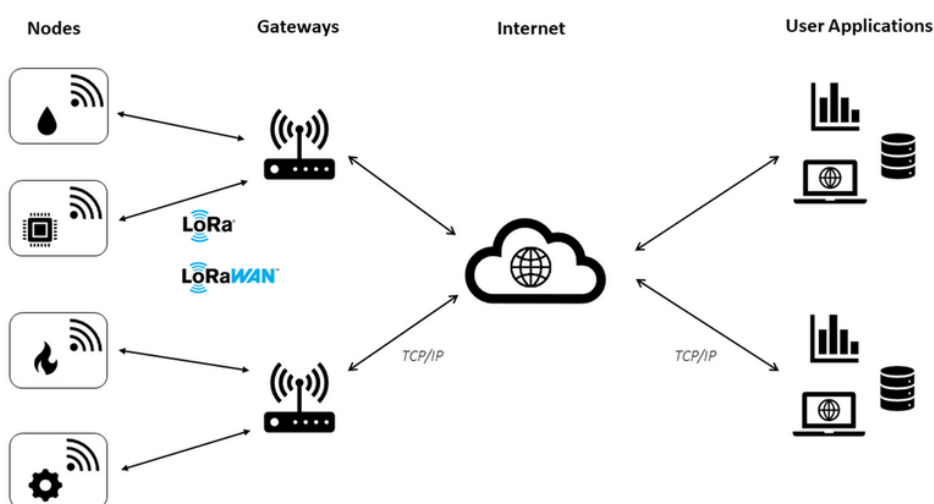
The article discusses the LoRaWAN wireless communication technology, its technical characteristics and applicability in the RCS. The relevance of the work lies in the need for a more efficient use of budget resources.

**Keywords:** dispatching, LoRaWAN, LPWAN, infrastructure, energy.

LoRaWAN – технология беспроводной передачи данных на дальние расстояния с низким энергопотреблением и широким покрытием. LoRaWAN использует радиочастотный диапазон ISM на частотах 868 МГц, 915 МГц или 433 МГц в зависимости от региона, и позволяет передавать данные на расстоянии до 10 км в глухих зонах и 1-3 км в городской застройке [1].

Технология LoRaWAN получила широкое распространение в проектах интернета вещей, т.к. недостаток технологии в виде низкой скорости передачи данных, не является для данной сферы критическим, а преимущества в виде низкого энергопотребления и высокой дальности позволяют значительно повысить автономность проектируемых устройств и возможности масштабирования сети вещей.

Основные компоненты системы LoRaWAN включают в себя: конечное устройство(датчик); радиомодуль(встроенный или внешний) для передачи данных с конечного устройства на шлюз и обработки входящих сообщений от базовых станций; шлюз (базовая станция) – повторяет принятые сообщения с радиомодулей конечных устройств в зоне охвата на сетевой сервер и обратно; сетевой сервер – обслуживание и управление сети [2]; приложение клиента. Пример архитектуры на рисунке ниже.



Архитектура LoRaWAN сети

При использовании сетей LoRaWAN могут использоваться 3 профиля связи, для обеспечения широкого круга потребностей пользователя. Профили указаны в таблице 1 [3].

Таблица 1

Класс	Описание профиля
А	Исходящая передача от каждого конечного устройства сопровождается двумя короткими входящими окнами приёма RX1 и RX2, минимизируя время, необходимое для прослушивания.
В	Конечное устройство помимо отправки исходящего сообщения, так же выходит в эфир по расписанию, для получения входящего сообщения от сетевого сервера
С	Конечное устройство, которые постоянно прослушивают входящее сообщения

Скорость обмена данными определена уровнями модуляции и коэффициентом SF (Spreading Factors) в комбинации с шириной полосы канала [4]. Все эти параметры влияют на физическую битовую скорость и время в эфире.

Значения передачи данных для частотного плана RU868 [5] указаны в таблице 2.

Таблица 2

Data Rate	Configuration	Bit Rate[bit/s]
0	LoRa: SF12 / 125kHz	250
1	LoRa: SF11 / 125kHz	440
2	LoRa: SF10 / 125kHz	980
3	LoRa: SF9 / 125kHz	1760
4	LoRa: SF8 / 125kHz	3125
5	LoRa: SF7 / 125kHz	5470
6	LoRa: SF7 / 250kHz	11000
7	FSC: 50kbps	50000

В сетях LoRaWAN используется схема адаптивной скорости передачи данных (ADR). ADR управляет индивидуальными скоростями для каждого подключенного устройства, что увеличивает время автономной работы устройств.

С учетом вышесказанного, использование LoRaWAN с профилем связи А для СОДК более выгодно по сравнению с использованием GSM-контроллеров т.к.: LoRaWAN модули не требуют подключения к электросети и не требуют SIM-карт для каждого ковера; система

диспетчеризации легко масштабируется размещением базовых станции и увеличением зоны покрытия.

### **Источники**

1. A lora-based air quality monitor on unmanned aerial vehicle for smart city / L. Y. Chen, H.-S. Huang, Ch.-J. Wu, Yi-T. Tsai, Y.-Sh. Chang// 2018 Intern. Conf. on System Science and Engineering (ICSSE). New Taipei, Taiwan: IEEE, 2018. P. 1–5.
2. С.С. Нассер, Ю.Т. Лячек, М.С.А. Мутанна. Энергосберегающий алгоритм для технологии LoRa // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 10/2020
3. LoRaWAN 1.1 Specification, 2018.
4. LoRaWAN 1.1 Regional Parameters, 2018.
5. Министерство цифрового развития РФ. Приказ об утверждении Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации, 2019.

УДК 665.612.3: 621.646.4

## **ПРИМЕНЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТОВ**

С.Е. Пышняк

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Н. Богданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

pyshniak.s.e@gmail.com

В данной статье рассмотрены газорегуляторные пункты. Принцип работы газорегуляторных пунктов, особенности их устройства, установки и размещения.

**Ключевые слова:** газорегуляторный пункт, газ, шумоглушитель, ГРП, редуцирование.

## **APPLICATION AND ARRANGEMENT OF GAS CONTROL POINTS**

S.E. Pyshniak

Scientific advisor A.N. Bogdanov

KSPEU, Kazan, Russia

pyshniak.s.e@gmail.com

This article discusses gas control points. The principle of operation of gas control points, features of their device, installation and placement.

**Keywords:** gas control point, gas, silencer, GRP, reduction.

В настоящее время актуальна тема газификации страны, а также модернизация существующих, порой устаревших, систем регулирования давления газа. Данные системы необходимы для корректировки и выравниванию давления газа, подаваемого потребителям по трубопроводам.

Газорегуляторные пункты предназначены для редуцирования газа с высокого давления на более низкое - требуемое давление, и поддержание его на заданном уровне в системе газопотребления [1]. Когда дело доходит до установки ГРП, главная проблема заключается в определении того, где именно они должны располагаться. Существуют определенные технические проблемы, связанные с установкой, такие как контроль и регулирование давления газа, а также обеспечение безопасного использования вблизи жилых домов и населенных пунктов [2]. Наконец, существуют проблемы безопасности, связанные с газорегуляторными пунктами, которые необходимо учитывать и устранять [3].

Проектирование газорегуляторных пунктов включает в себя несколько ключевых этапов. Во-первых, важно определить цели и потребности проекта. Затем исследователи должны определить, где должны располагаться пункты, и разработать план их установки [4]. Данный этап включает в себя множество исследований, связанных с местом расположения, климатом, состоянием грунта, расчетами фундамента и т.д. После этого инженеры должны убедиться, что конструкция соответствует всем требованиям безопасности и пригодна для установки. Основные конструктивные решения исходят из функциональных производственных связей и технологических компоновок устанавливаемого оборудования, обеспечивают безопасные и благоприятные условия работы персонала, удобства эксплуатации, ремонта [5].

Одним из главных недостатков при редуцировании газа на ГРП является сильный шум, возникающий при регулировании давления газа с большого давления на малое, которое далее поставляется потребителям. В узлах редуцирования уровни звукового давления возрастают до величин 100-105 дБ.

Учитывая превышение санитарных норм, необходимо осуществлять меры по снижению шума от оборудования. Для ГРП на газопроводах разработан комплекс мероприятий по уменьшению шума – установка специальных шумоглушителей [6]. Шумоглушители обеспечивают снижение уровня низкочастотных пульсаций и шумов газового потока за

счет разрушения крупномасштабных турбулентных вихрей в узких круговых зазорах. Снижение шума происходит примерно на 20дБ.

Таким образом, применение газорегуляторных пунктов уже давно и тесно связано с жизнью обычных людей, использующих газ в быту. Также в перспективе по газификации страны данные системы имеют место для применения и будут использоваться в дальнейшем, так как система отработана и проверена временем в эксплуатации.

### **Источники**

1. Моделирование течения газа в трубчатом канале с диафрагмой в турбулентном режиме // Научный журнал «Вестник Казанского государственного энергетического университета». - <https://vkgeu.ru/архив/том-13-номер-4-52-год-2021>.

2. В. Э. Зинуров, Р. Я. Биккулов, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, А. Н. Николаев. Определение расчетной скорости газового потока в фильтрах грубой и тонкой очистки при различной степени загрязненности // «ИЗВУЗ. Проблемы энергетики». - <https://www.energyret.ru/jour/article/view/2412>

3. Крюков В.В., Тугое В.В. Управление редуцированием газа в магистральных газопроводах высокого давления // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. - 2019. - № 1 (49). - С. 55-65.

4. Промышленное газовое оборудование: справочник/ Е. А. Карякин [и др.] // Саратов: Науч.-исслед. центр промышленного газового оборудования "Газовик", 2018. - 1280 с.

5. Bushuev V., Kryukov V., Saenko V., Tomin S. Development of oil industry in Russia // Oil vertical. 2020. № 11-14.

6. АЗБУКА ПРОИЗВОДСТВА. Редуцирование газа. ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ Ставрополь. 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://stavropol-tr.gazprom.ru/press/news/2019/02/801/?ysclid=leqz7173b7947086028> (дата обращения: 1.03.2023).



## УМЕНЬШЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЭСТАКАДАХ СЛИВА-НАЛИВА НЕФТИ

Д.М. Русин

Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Богданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

333design@mail.ru

В статье раскрыта актуальность автоматизации сливо-наливных железнодорожных эстакад, выполнен обзор существующих аварийных ситуаций на сливо-наливных железнодорожных эстакадах. Представлены возможные пути минимизации чрезвычайных происшествий на сливо-наливных железнодорожных эстакадах.

**Ключевые слова:** логистика, нефтепродукты, эстакады, процесс, авария.

## DECREASE OF EMERGENCY INCIDENTS AT OIL RAILWAY FILLING AND LOADING RACKS

D.M. Rusin

KSPEU, Kazan, Russia

333design@mail.ru

The article reveals the relevance of automation of loading and unloading railway racks, a review of existing emergency situations on loading and unloading railway racks. Possible ways of minimizing emergencies on loading and unloading railway racks are presented.

**Keywords:** logistics, oil products, racks, process, accident.

Автоматизация железнодорожных эстакад слива-налива нефти – это большая возможность для предприятий, работающих в области нефтепереработки. Она позволяет контролировать и оптимизировать процессы разлива и налива, а также обеспечивает надежность и точность. На практике, автоматизация железнодорожных эстакад позволяет производить мониторинг движения и производства нефти в реальном времени, что позволяет планировать будущие проекты предварительно. Также, автоматизированные эстакады слива-налива нефти могут быть использованы для обеспечения производственных и пользовательских

возможностей. Например, они могут помочь в автоматическом мониторинге объемов переработанной нефти и планировании будущих проектов.

Логистика нефтепродуктов оказывает большое влияние на экономику страны, а также на развитие нефтехимической отрасли [1]. В логистических цепочках по перевозке нефтепродуктов участвует автомобильный транспорт, судоходство, но большая часть нефтепродукта транспортируется по железнодорожным путям. Ежегодно при операциях по сливу-наливу происходит множество аварий, которые создают угрозу для жизни и наносят значимый ущерб окружающей среде. С технической точки зрения, к ключевым причинам аварий можно отнести износ и надежность оборудования [2].

Сливо-наливные железнодорожные эстакады предназначены для осуществления операции налива и слива нефтепродуктов с последующей транспортировкой в резервуарные парки [3].

Основные операции, выполняемые на железнодорожной эстакаде: постановка вагон-цистерн на площадку слива-налива, подготовка к сливу-наливу, слив-налив, окончание слива-налива.

В первую очередь, для обеспечения безопасной эксплуатации необходимо исключить наиболее вероятные причины возникновения аварий. Следует провести мероприятия, которые направлены на повышение надежности работы оборудования [4].

Автоматизированная система подразумевает под собой систему, которая позволяет автоматизировать технологический процесс по разработанному на стадии проектирования алгоритму. АСУ ТП состоит из ЛСУ – локальная система управления, РСУ – распределенная система управления, ПАЗ –противоаварийная защита [5].

Еще одной, наиболее частой, проблемой, ведущей к возникновению чрезвычайных происшествий, является не соблюдение дисциплины. Решением проблемы - курсы дополнительного образования, система контроля.

Автоматизация железнодорожных эстакад слива-налива нефти позволяет минимизировать риск происшествий, таких как выход из строя транспортных средств и прочих технических неисправностей. Она позволяет оптимизировать процесс работы, а также позволяет предприятиям получать доход быстрее, уменьшая временные и финансовые расходы на производство и обеспечивая безопасную эксплуатацию. В конце концов, автоматизация железнодорожных эстакад слива-налива нефти позволяет предприятиям и производителям нефти минимизировать потери и увеличить эффективность производства и улучшить безопасность железнодорожных эстакад слива-налива нефти.

Благодаря автоматизации эти эстакады становятся более целостными, безопасными и устойчивыми для эксплуатации.

В статье была раскрыта актуальность автоматизации сливо-наливных железнодорожных эстакад, а также разобраны способы минимизации чрезвычайных происшествий на сливо-наливных железнодорожных эстакадах. Разобранные способы позволят снизить возможность возникновения чрезвычайных ситуаций.

### **Источники**

1. Е.А. Напойкина, П.А. Сигал. Риски промышленных предприятий в энергетической сфере деятельности // «ИЗВУЗ. Проблемы энергетики» [Электронный ресурс]. <https://www.energyret.ru/jour> (дата обращения: 13.11.22).

2. Коршунов Е.А., Капанский А.А., Коршунов К.Е. Автоматизация процессов обслуживания энергетического оборудования с помощью специализированных программных решений // «Вестник КГЭУ» [Электронный ресурс]. <https://vkgeu.ru/> (дата обращения: 13.11.22).

3. О.А. Доржиева, Т.А. Хакимов // Сборник научно-практической конференции «Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов». Уфа. 2015, С.162-164.

4. Павлова З.Х., Азметов Х.А., Абдрахманов Н.Х., Павлова А.Д. Оценка и обеспечение безопасности эксплуатации нефтегазопроводов в условиях не стационарности технологических параметров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т.329. №1. С.132-137.

5. Fedosov A. The place of measurement uncertainty in the analysis of industrial safety state // Norwegian Journal of development of the International Science, № 15/2018, VOL. 1, pp. 58-61.

УДК 681.5

## **ОБЗОР ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОТОКОЛА PROFIBUS**

Э.Р. Сагитов

Науч. рук. канд. пед. наук, доцент Л.В. Ахметвалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[sagitovve@yandex.ru](mailto:sagitovve@yandex.ru)

В статье рассматривается промышленный протокол PROFIBUS, его целевая направленность и пригодность для применения в различных системах, а также приводятся уязвимости и предлагаются решения по обеспечению безопасности.

**Ключевые слова:** промышленные протоколы, PROFIBUS, безопасность.

# OVERVIEW OF THE PROFIBUS INDUSTRIAL PROTOCOL

E.R. Sagitov  
KSPEU, Kazan, Russia  
sagitovve@yandex.ru

The article discusses the industrial protocol PROFIBUS, its purpose and suitability for use in various systems, as well as given vulnerabilities and proposed solutions to ensure safety.

**Keywords:** industrial protocols, PROFIBUS, security.

В соответствии с IEC 61158/IEC 61784-1, PROFIBUS — это международный открытый стандарт для полевой шины связи в автоматических системах. PROFIBUS имеет три спецификации: Спецификация сообщений полевой шины (FMS) [1], предназначенная для передачи/обмена данными между персональными компьютерами и программируемыми логическими контроллерами (ПЛК); Спецификация децентрализованных периферийных устройств (DP) [2], для соединения распределенных полевых устройств в централизованном контроллере; Спецификация автоматизированных процессов (PA) [3], разработанная с использованием технологии, которая обеспечивает передачу энергии и данных по одному и тому же кабелю, что снижает вероятность аварий в опасных зонах.

На прикладном уровне для PROFIBUS DP определены три протокола обмена сообщениями: DP-V0 используется для циклического обмена данными и диагностики; DP-V1 используется для ациклического обмена данными и обработки сигналов тревоги; DP-V2 используется для синхронного режима и обмена данными (slave to slave).

К преимуществам использования PROFIBUS можно отнести множество факторов, основными из которых являются: совместимость с широким спектром компонентов от различных производителей; гибкость, позволяющая расширять сеть без значительных затрат; высокая эксплуатационная надежность.

Однако, существенным недостатком стека протоколов является отсутствие аутентификации/авторизации, шифрования и проверки целостности передаваемых данных. Сообщения по каналу связи передаются в виде “открытого кода”, что на прямую влияет на безопасность промышленных сетей. Отсутствие элементов управления авторизацией и аутентификацией означает, что неавторизованные

устройства могут подключаться и взаимодействовать с PROFIBUS, получая доступ к сообщениям.

Для аутентификации сетевых устройств и целостности связи криптография является наиболее подходящим решением, возможно, единственным реальным. Однако криптографический контроль достигается за счет снижения эффективности. Проверка целостности, шифрование и дешифрование требуют дополнительного времени обработки. Это дополнительное время невыгодно в промышленных сетях, где время отклика системы является критическим фактором из-за сильной зависимости от информации, передаваемой между ведущим и ведомым устройствами.

Существует два варианта защиты PROFIBUS: использовать существующий протокол безопасности, такой как протокол Ethernet [4, 5], или интегрировать управление аутентификацией в сам протокол PROFIBUS.

Проектирование и развертывание защищенной сети PROFIBUS возможно, но требует тщательного анализа и тестирования для поддержания работоспособности и функциональной безопасности системы. Внедрение криптографических средств управления для решения проблем конфиденциальности и целостности в PROFIBUS, особенно на полевом уровне, отрицательно сказывается на времени отклика системы.

Однако спецификация OPC UA вводит возможность применения «глубокоэшелонированной защиты» [6] для защиты сетей PROFIBUS путем реализации безопасности на сетевом уровне выше поля.

Альтернативным подходом является реализация контроля аутентификации на уровне поля сети, что менее осуществимо из-за накладных расходов на обработку и дополнительных требований к ресурсам. Эти меры безопасности лучше всего внедрять выше полевого уровня, где можно обнаружить несколько недостатков. Используя элементы управления аутентификацией и авторизацией различной степени эффективности на более высоких уровнях, этот подход должен дополнять меры физической безопасности, реализуемые на полевом уровне.

Кроме того, требуется всесторонний анализ дерева атак протокола PROFIBUS для определения всех возможных целей и путей атаки, а также измерения риска воздействия, чтобы принять соответствующие меры для предотвращения этих атак.

### **Источники**

1. J.P. Thomesse, "Fieldbus Technology in Industrial Automation," in Proceedings of the IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1073-1101, June 2005, doi: 10.1109/JPROC.2005.849724.

2. G. Gabor, C. Pintilie, C. Dumitrescu, N. Costica and A.T. Plesca, "Application of Industrial PROFIBUS-DP Protocol," 2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), Iasi, Romania, 2018, pp. 0614-0617, doi: 10.1109/ICEPE.2018.8559857.

3. J. Kjellsson, A. E. Vallestad, R. Steigmann and D. Dzung, "Integration of a Wireless I/O Interface for PROFIBUS and PROFINET for Factory Automation," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 56, no. 10, pp. 4279-4287, Oct. 2009, doi: 10.1109/TIE.2009.2017098.

4. Лизунов И.Н., Васев А.Н., Мисбахов Р.Ш., Федотов В.В., Хузиахметова Э.А. Технологии передачи данных в современных системах релейной защиты и автоматики и их показатели качества. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017;19(1-2):52-63.

5. Васев А.Н., Мисбахов Р.Ш., Зиганшина А.И., Федотов В.В. Комбинированные системы сбора и передачи технологической и диагностической информации АСУТП электроустановок. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018;20(11-12):16-26.

6. M. Tanjidur Rahman, M. Sazadur Rahman, HuanYu Wang, Shahin Tajik, Waleed Khalil, Farimah Farahmandi, Domenic Forte, Navid Asadizanjani, Mark Tehranipoor, Defense-in-depth: A recipe for logic locking to prevail, Integration, Volume 72, 2020, Pages 39-57, ISSN 0167-9260

УДК 004.384

## **УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОМОЩЬЮ ОДНОПЛАТНОГО МИКРОКОМПЬЮТЕРА RASPBERRY PI И ДРАЙВЕРА ДВИГАТЕЛЯ L298N**

Р.Д. Садыков

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент В.А. Данилов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rsa00821@gmail.com

В тезисе представлено краткое описание взаимодействия одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi и драйвера шагового двигателя L298N, а также приведены операторы на языке программирования Python, для управления шаговым двигателем.

**Ключевые слова:** Raspberry Pi, автоматизация, одноплатный компьютер, средства автоматизации, шаговый двигатель, драйвер двигателя, l298n.

# STEPPER MOTOR CONTROL USING RASPBERRY PI SINGLE-BOARD MICROCOMPUTER AND L298N MOTOR DRIVER

R.D. Sadykov  
KSPEU, Kazan, Russia  
rsa00821@gmail.com

The thesis provides a brief description of the interaction of the Raspberry Pi single-board microcomputer and the L298N stepper motor driver, as well as operators in the Python programming language for stepper motor control.

**Keywords:** raspberry pi, automation, single-board computer, automation tools, stepper motor, motor driver, l298n.

Raspberry Pi – это одноплатный микрокомпьютер, который может быть использован для различных проектов. Он имеет множество преимуществ, которые включают в себя следующее: универсальность применения, малый размер и высокую вычислительную мощность [1]. Данный микрокомпьютер может быть использован как ПЛК (программируемый логический контроллер). Это может быть полезно для автоматизации процессов или для управления различными устройствами. Он может быть использован для создания систем умного дома, автоматизации производства или для мониторинга окружающей среды. Программирование микрокомпьютера может быть осуществлено на следующих языках, таких как Python, C, C++ или Java [2].

Raspberry Pi имеет универсальные порты GPIO (General Purpose Input/Output) они могут быть использованы, как и для отправки логического сигнала, так и для его приёма (напряжение логической единицы - 3.3В). Данные порты используются для подключения датчиков, и других устройств к одноплатному микрокомпьютеру в качестве ПЛК. Режим работы на приём или отправку сигнала настраиваться на программном уровне [3].

Raspberry Pi нельзя подключить напрямую к шаговому двигателю, так как микрокомпьютер не способен работать с большим током и напряжением, для этого используется специальный драйвер необходимый для управления двигателем и преобразования управляющих сигналов в сигналы с большим током и напряжением, необходимых для вращения двигателя. В данном тезисе будет рассмотрен в качестве примера драйвер L298N.

L298N является двухканальным драйвером двигателя, который позволяет управлять двумя двигателями постоянного тока одновременно. Он имеет по два входных порта (IN1, IN2, IN3, IN4) для управления двигателями, по два выходных порта (OUT1, OUT2, OUT3, OUT4) для подключения двигателей. Порты ENA, ENB необходимы для включения/отключения двигателей, дополнительно они могут быть использованы в качестве регулировки скорости вращения двигателей. Порты Vs и Vss отвечают за питание логики (5В) и двигателя, а также есть порт общего заземления (GND). Драйвер имеет встроенный диапазон напряжения от 5 до 35В, а также работает с током до 2А (пиковый ток 3А) и может принимать входные сигналы от микроконтроллеров или других устройств управления. Он имеет встроенный защитный механизм против перегрузки и перегрева, что делает его безопасным для использования [4].

Соединив любые GPIO порты Raspberry Pi с портами L298N, одноплатный микрокомпьютер будет отправлять управляющие сигналы на IN1..4, для обеспечения шага двигателя, также имеется возможность настроить подачу ШИМ-сигнала с GPIO портов на порты ENA и ENB для регулирования скорости вращения шагового двигателя. Программирование этих сигналов может быть осуществлено благодаря языку Python и среды разработки кода и его дальнейшей компиляции, к примеру этой средой может служить Thonny, которая является встроенной в стандартный пакет ПО Raspberry Pi. При составлении логики в программном коде, языку Python необходима для работы с портами GPIO библиотека «RPi.GPIO», после её импортирования в код, будут доступны необходимые методы для работы с сигналами, приведём в пример некоторые из них:

`GPIO.setmode(GPIO.BOARD/BCM)` – установка варианта нумерации портов. BOARD - нумерация разъема P1 на борту или BCM – нумерация на кристалле Broadcom.

`GPIO.setup(номер порта, GPIO.OUT/IN)` – установка порта на приём или отправку сигнала в зависимости от его нумерации

`GPIO.PWM(номер порта, частота)` – установка порта в режим ШИМ, с определённой частотой следования импульсов, `GPIO.PWM(номер порта, частота).start(коэф. заполнения)` – запуск ШИМ сигнала с определённым коэффициентом заполнения, аналогично с функцией start может быть использована функция Change Duty Cycle для регулирования коэффициента заполнения, который влияет на величину скорости вращения шагового двигателя.

`GPIO.output(номер порта, 0/1)` – установка логического нуля или единицы [5]



Таким образом, используя язык программирования Python и Raspberry Pi с L298N можно установить направление вращения шагового двигателя за счёт последовательности отправки логического 0 и 1, а также скорость его вращения с помощью ШИМ-сигнала.

### **Источники**

1. Upton E., Halfacree G. Raspberry Pi user guide. – John Wiley & Sons, 2014.
2. Vieira G. et al. Low-cost industrial controller based on the raspberry pi platform //2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). – IEEE, 2020. – С. 292-297.
3. Jain R. Controlling Raspberry Pi GPIO //Advanced Home Automation Using Raspberry Pi. – Apress, Berkeley, CA, 2021. – С. 23-49.
4. Егорова П. Г., Нуруллаев Н. М. EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE APPLICABILITY OF THE L298N DRIVER TO CONTROL D82 MOTOR //Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. – 2019. – №. 18. – С. 29-30.
5. Donat W., Krause C. Learn Raspberry Pi Programming with Python. – New York, NY 10013: Apress, 2014.

УДК 621-313.3

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ ПОСРЕДСТВОМ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Д.Д. Скворцов<sup>1</sup>, И.М. Сафаров<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, профессор Гильфанов К.Х.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> danil.skvortsov12@mail.ru, <sup>2</sup> ildarsafarov@inbox.ru

В статье анализируются проблемы, связанные с мгновенной нагрузкой комплекта насосов, работающих параллельно (один с частотным регулированием и один без частотного регулирования). Так же подробно рассмотрен механизм управления как одного насосного агрегата, так и целой системы при помощи частотного преобразователя.

**Ключевые слова:** интеллектуальное управление, частотное регулирование, насосный агрегат, методика управления.

# INTELLIGENT CONTROL OF PUMPING STATIONS THROUGH FREQUENCY CONTROL

D.D. Skvortsov<sup>1</sup>, I.M. Safarov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup> danil.skvortsov12@mail.ru, <sup>2</sup> ildarsafarov@inbox.ru

The article analyzes the problems associated with the instantaneous load of a set of pumps operating in parallel (one with frequency control and one without frequency control). The control mechanism of both one pumping unit and the whole system with the help of a frequency converter is also considered in detail.

**Keywords:** intelligent control, frequency regulation, pump unit, control technique.

Обычные схемы управления (без частотного регулирования) решают проблему за счет выравнивания токовой нагрузки на приводные двигатели и регулирования каждого насоса. Эту задачу обычно выполняет человек. В статье приведен способ управления, обеспечивающий высочайшую эффективность. Способ состоит в том, что необходимо выполнять регулируемое демпфирование насоса с помощью частотного управления в пределах рабочего диапазона для управления положением рабочей точки насоса. [1] В случае экстренной остановки частотно-регулируемого насоса предписывается перенастроить управление без частотно-регулируемого агрегата на автоматическое компенсирование потерь путем дросселирования.

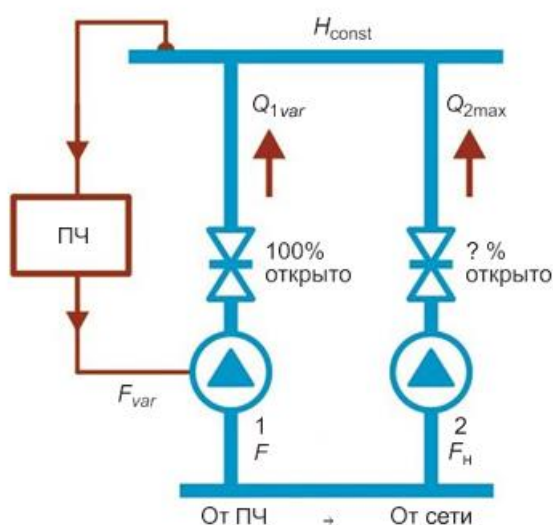


Рис. 1. Частотное управление насосным агрегатом

Классические системы управления (без частотного регулирования) решают задачу мгновенной нагрузки за счет ее распределения на приводные двигатели и калибровка отдельного насоса. Обычно это выполняется человеком. Регулятор частоты во всех насосных машинах решает проблему, синхронизируя работу преобразователя частоты с выходной частотой или токовой нагрузкой. Только случае полностью открытых клапанов активных насосов можно получить эффект энергосбережения, при условии, что насосы имеют одинаковые параметры. Схема системы управления с преобразователем частоты (ПЧ) указана на рисунке 1.

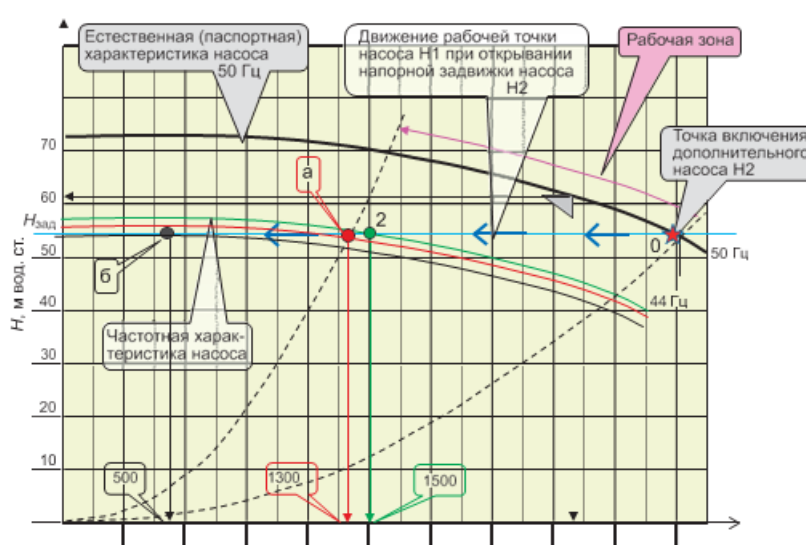


Рис. 2. Работа насосов в системе группового частотного управления при увеличении расхода

Наиболее сложная ситуация возникает, когда частотное регулирование выполняется единственным агрегатом, производительность которого невелика. В такие моменты полностью открывается напорный клапан и включается дополнительный насос «от сети» (без частотной регулировки) [2]. Аналитический график работы насосов в системе группового регулирования указан на рисунке 2.

Еще одной, не менее важной задачей при параллельной работе двух насосов (одного с частотным регулированием и одного без частотного регулирования) является гарантия бесперебойности насосной станции в случае отключения электроэнергии, является. неисправности насоса и преобразователя частоты). Тогда будет продолжать работать только агрегат без частотного регулирования, а система управления этого насоса не будет зафиксирована на давление. Как итог - давление может быть слишком высоким или слишком низким. Чтобы исправить эту ситуацию,

насосы без частотного регулирования необходимо перенастроить на работу с автоматическим поддержанием давления с помощью дросселей. [3]

### Источники

1. Бакарев О.В. Разработка системы управления электроприводом переменного тока насосной станции / О. В. Бакарев Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016: Электротехнические комплексы и системы, Новосибирск, 16–20 апреля 2016 года. – Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2016. – С. 65. – EDN UQYDFU.

2. Energy Efficient Control by the Group of Oil Pumping Stations Operation / G.I. Kaniuk, A.Yu. Mezeria, V.N. Kniazeva [et al.] // Problems of the Regional Energetics. – 2021. – No. 4(52). – P. 13-22. – DOI 10.52254/1857-0070.2021.4-52.02. – EDN OALJKE.

3. Рамалданов В.З. Система управления электродвигателей насосных станций нефтяной промышленности / В.З. Рамалданов, А.В. Пруднов // Энергия - 2011: VI Региональная научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Иваново, 28 апреля 2011 года / ИГЭУ имени В.И. Ленина. Том 2. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2011. – С. 28-29. – EDN IZVMMO.

УДК 681.5

## АНАЛИЗ ПРАКТИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

А.Ш. Фахрутдинова

Науч. рук. д-р техн. наук, профессор К. Х. Гильфанов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

fahriky1@gmail.com

В данной работе проведен анализ практик использования автоматизированных систем управления технологическими процессами на тепловых электростанциях.

**Ключевые слова:** Автоматизированная система управления, тепловая электростанция, оптимизация, автоматизация.

# ANALYSIS OF THE PRACTICE OF USING AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS AT THERMAL POWER PLANTS

A.Sh. Fakhrutdinova  
KSPEU, Kazan, Russia  
fahriky1@gmail.com

This paper analyzes the practices of using automated process control systems at thermal power plants.

**Keywords:** Automated control system, thermal power plant, optimization, automation.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) электростанции построена на программно-технических комплексах (ПТК), иерархической сетевой структуре и техническом уровне (уровень датчиков и исполнительных механизмов). Стоит отметить, что ПТК теперь считается основным техническим средством контроля и управления всеми энергетическими установками, находящимися в стадии строительства или модернизации, и выбирается при покупке ключевого оборудования. Анализ прикладного программного обеспечения современных ПТК показал, что автоматизированные системы управления технологическими процессами на их основе в основном повышают качество регулирования, решают задачи частичной оптимизации технологии и расчета технико-экономических показателей [1]. Инвестиции в разработку таких систем автоматического управления составляют 60-80% от стоимости крупных систем автоматического управления с решениями для всех ранее описанных задач. Это означает, что, при внедрении алгоритма управления в автоматизированную систему управления технологическим процессом, основанную на новейшем ПТК, их функционал используется не в полную силу.

Один из разделов статьи посвящен детальному изучению следующих основных проблем автоматизированной системы управления технологическими процессами на базе ПТК:

- Низкая автоматизация технологического процесса; недостаточная интеллектуализация программы контроля и управления, особенно производственного процесса на уровне объекта
  - Низкая технико-экономическая эффективность при разработке и внедрении автоматизированных систем управления технологическими процессами на базе ПТК
  - Отсутствие методологических положений ПТК, пригодных для интеграции в прикладное программное обеспечения

- Отсутствие методологического подхода и практических рекомендаций по интеграции интеллектуальных программных продуктов в ПТК при наличии полностью или частично автоматизированных систем управления технологическими процессами на станции;

- Отсутствие полноценных технико-экономических анализов, на основе которых получилось бы модернизировать существующую интеллектуальную систему автоматического управления и создать новую интеллектуальную систему автоматического управления для современных энергоблоков на базе отечественной ПТК

Отсутствие единого методологического подхода к созданию систем автоматического управления технологическими процессами на блочном уровне и на уровне станции привело к тому, что этот функционал был возложен на ПТК в связи с чем задачи станционного уровня остались без технического исполнителя. Эта проблема демонстрирует необходимость разработки и внедрения интеллектуальных систем для автоматизированного управления технологическими процессами путем расширения возможностей ПТК для оптимального управления технологиями и производственными процессами на уровне блоков и станций [2]. Одним из перспективных решений является разработка алгоритмов функционального распределения оптимизационных задач и их информационной поддержки. В технической литературе данные алгоритмы имеют обозначение - интеллектуальная автоматизированная система управления.

Интеллектуальная автоматизированная система управления технологическим процессом — это многоуровневая структура управления технологическим процессом, рассчитанная на то, что внутри электростанции необходима распределенная система автоматического управления технологическим процессом, которая включает в себя 3 уровня: агрегатный, блочный и станционный [3]. На уровне агрегирования решаются задачи, связанные с информационной целостностью, а именно: измерение и обработка, проверка надежности сигнала и т.д. На блочном уровне выполняются такие задачи, как оптимизация нормативного качества технических процессов и управление режимом оборудования этого блока. На станционном – расчет и анализ ТЭП станции, в том числе расходы на собственные нужды и расчет объемов и времени проведения ремонта, с учетом анализа целостности используемого оборудования.

### **Источники**

1. Аракелян, Э. К. Проблемы современных автоматизированных систем управления технологическим процессом на базе программно-технических комплексов и возможный путь их решения / Э. К. Аракелян,

Е. Д. Васильев, С. Р. Хуршудян // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2014. – № 1. – С. 15-20.

2. Луков Д.К. Автоматизированные системы управления технологическим процессом // European science. 2019. № 2. С. 19–21.

3. Автоматизация технологических процессов на тепловых электрических станциях : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автоматизация технол. процессов и пр-в" (в энергетике) / А. М. Демин [и др.] ; [науч. ред. В. Д.Таланов] ; Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования, Иван. гос. энергет. ун-т им. В. И. Ленина. – Иваново, 2004. – 271 с.

УДК 681.5

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РОБОТОВ**

Т.А. Хабиров

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А. Н. Богданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

timhab777@mail.ru

Статья посвящена проблеме выбора оптимального метода перемещения роботов и наземных роботизированных установок для возможного автоматического обследования учебного полигона электрической подстанции во дворе КГЭУ.

**Ключевые слова:** перемещение, роботизированная установка, автопилотирование, система автоматического управления, электрическая подстанция.

## **COMPARATIVE REVIEW OF ROBOT MOVEMENT METHODS**

T.A. Khabirov

KGEU, Kazan, Russia

timhab777@mail.ru

The article is devoted to the problem of choosing the optimal method for moving robots and ground robotic installations for a possible automatic examination of the training ground of an electrical substation in the yard of KSPEU.

**Keywords:** movement, robotic installation, autopilot, automatic control system, electrical substation.

В XXI веке роботы прочно вошли в нашу жизнь. Несомненно, каждый из нас хоть раз в жизни взаимодействовал с роботами или робототехническими автоматизированными установками. С каждым годом мы можем увидеть развитие робототехнических систем в самых различных сферах: в энергетике, в медицине, в военной сфере, в системах умного дома. Большинство таких роботов имеет в своей конструкции какие-либо системы передвижения по поверхностям разного вида. В этой статье мы изучим основные методы передвижения робототехнических систем для автоматизированного мониторинга электрических подстанций [1].

Для начала рассмотрим все возможные типы передвижения для выбора наиболее оптимальных. Такими можно назвать езду на колёсах и гусеницах, ходьбу, прыжок, полёт, плавание, скольжение. По причине возможных суровых климатических условий, подходящих систем передвижения наберётся не так много. Исходя из этого, можно сказать, что колёса, гусеницы и шагоходы являются наиболее практичными [2].

Колесные роботы обычно энергоэффективны и просты в управлении (рис.1). Такая конструкция позволит без труда производить мониторинг состояния электрических подстанций (рис.2). Однако другие методы перемещения могут быть более подходящими по различным причинам, например, передвижение по пересеченной местности, а также передвижение и взаимодействие в среде людей, но всё зависит от количества колёс и габаритов робота. Основной целью в этой области является развитие у роботов возможностей автономно решать, как, когда и куда двигаться [3]. Однако контролировать многочисленные роботизированные суставы даже для простых задач, таких как переход по лестнице, довольно сложно. Автономное передвижение роботов - серьезное технологический барьер для многих областей робототехники.



Рис.1. Колесный робот





Рис.2. Колесный робот на электрической подстанции

Шагающие роботы имитируют походку человека или животного и составляют серьёзную конкуренцию колёсной технике(рис.3). Движение ногами позволяет преодолевать неровные поверхности, ступеньки и другие участки, до которых будет трудно добраться роботу, передвигающемуся на колёсах. Количество ног и их конструктивное исполнение также сильно повлияет на проходимость робота.



Рис.3. Шагающий робот

В условиях рельефных неровностей гусеничное шасси имеет ряд преимуществ относительно остальных типов конструкций. Гусеничные платформы имеют наименьшее давление на проезжаемую поверхность, что дает им возможность проезжать по болотам, песку и снегу (рис.4). Скорость гусеничных платформ во многом зависит от мощности двигателя. Гусеничная платформа обладает большей площадью сцепления с поверхностью, относительно колесного, но это сказывается на скорости передвижения робота. Основные недостатки подобных систем передвижения заключаются в ненадежности распределительных передач, сложности их обслуживания в процессе эксплуатации.



Рис.4. Гусеничный робот

Таким образом, хотя колёсные платформы в настоящее время явно преобладают, известно, что при ходьбе по пересеченной поверхности существенные преимущества имеют шагающие роботизированные установки. Однако вышеперечисленные преимущества шагающего робота определяют его высокую сложность и дороговизну. Большое число управляемых степеней свободы робота требует сложной компоновки, разработки приводов, специальной организации стоп [4].

Так, можно сделать вывод, что для каждого вида поверхности нужна своя конструктивно собственная система передвижения. Оптимальным на мой счёт является гусеничная система благодаря хорошей проходимости в суровых условиях и обладающей большей грузоподъёмностью.

#### **Источники**

1. Бишоп О. Настольная книга разработчика роботов «МК-Пресс», СПб.: КОРОНА-ВЕК, 2010.
2. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы, Сырямкин В.И., 2017.
3. Сравнительный анализ технологий автопилотирования с выбором оптимального варианта для наземной мобильной роботизированной платформы / Хабиров Т.А. // Материалы докладов XXXVI Всероссийского аспирантско-магистерского семинара. Казань: КГЭУ, 2022.
4. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление, Булгаков А.Г., Воробьев В.А., 2017.

## ИНДИКАЦИЯ УРОВНЯ ЗАРЯДА ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Т.А. Хабиров

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Н. Богданов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

timhab777@mail.ru

Статья посвящена проблеме, вызванной неинформированностью об уровне заряда на мобильных роботизированных платформах при автоматическом обследовании учебного полигона электрической подстанции во дворе КГЭУ.

**Ключевые слова:** уровень заряда, мобильная роботизированная установка, автопилотирование, система автоматического управления.

## MOBILE ROBOTS CHARGE LEVEL INDICATION

T.A. Khabirov

KGEU, Kazan, Russia

timhab777@mail.ru

The article is devoted to the problem caused by the lack of information about the level of charge on mobile robotic platforms during automatic inspection of the electrical substation landfill in the yard of KSPEU.

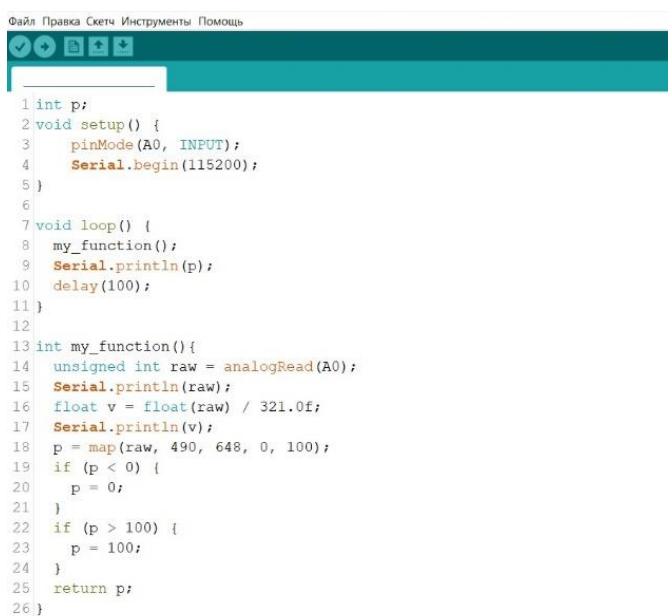
**Keywords:** charge level, mobile robotic installation, autopilot, automatic control system.

С каждым годом мы всё больше доверяем роботам. Действительно, ведь каждый из нас хоть раз в жизни встречался и взаимодействовал с роботами или робототехническими автоматизированными установками. С каждым годом мы можем увидеть развитие робототехнических систем в самых различных сферах: в энергетике, в медицине, в военной сфере, в системах умного дома. Большая часть таких роботов имеет у себя на борту систему отслеживания уровня заряда. В этой статье мы изучим основные механические и конструктивные способы вычисления этого заряда и информированности об уровне заряда на корпусе робота и на сайте управления.

Индикация уровня заряда аккумулятора – это крайне важный инструмент любого механического устройства, особенно для мобильных

автоматизированных робототехнических установок, которые могут не вернуться к месту зарядки или зарядной станции и остаться на улице в суровых условиях, что может привести к возможным поломкам [1]. Также стоит отметить, что многим типам аккумуляторов нельзя разряжаться ниже определённого уровня, ведь это может привести к, например, падению плотности электролита, что сильно влияет на его рабочую температуру и может поспособствовать промерзанию электролита [2].

Так, для прототипа мобильной роботизированной платформы, (в разработке, предназначенной для уборки снега) «Молодёжного инновационного центра» КГЭУ была разработана программа на встроенном языке Arduino (C++) для вычисления правильных значений вольтажа, что при некоторых вычислениях, способствует нахождению процента уровня заряда литиевых аккумуляторов (рис.1.).



```
1 int p;
2 void setup() {
3   pinMode(A0, INPUT);
4   Serial.begin(115200);
5 }
6
7 void loop() {
8   my_function();
9   Serial.println(p);
10  delay(100);
11 }
12
13 int my_function(){
14   unsigned int raw = analogRead(A0);
15   Serial.println(raw);
16   float v = float(raw) / 321.0f;
17   Serial.println(v);
18   p = map(raw, 490, 648, 0, 100);
19   if (p < 0) {
20     p = 0;
21   }
22   if (p > 100) {
23     p = 100;
24   }
25   return p;
26 }
```

Рис.1. Код программы

Также для правильного функционирования кода необходимо было построить электрическую схему делителя напряжения, так как максимально допустимое входное напряжение на контроллере Arduino 3,3-5В в зависимости от версии контроллера (рис.2) [3]. Например, если подключить аккумулятор 12В напрямую к контроллеру, то он не сможет считать правильные показания уровня заряда аккумулятора, поэтому схема состоит из делителя напряжения, который с помощью нескольких резисторов позволяет вычислить правильные значения [4].

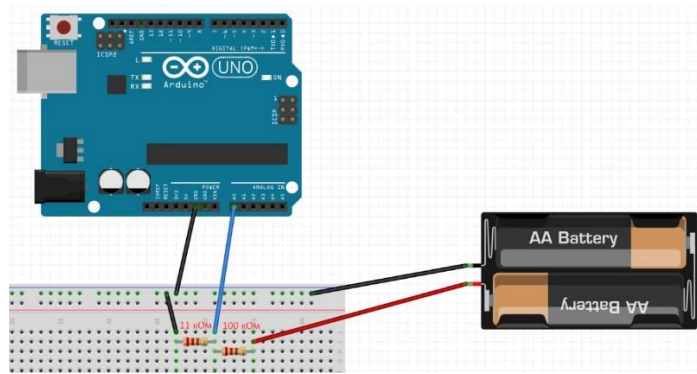


Рис.2. Электрическая схема подключения делителя напряжения

Таким образом, в проекте удалось добиться выводов правильных значений уровня заряда аккумуляторов, что в дальнейшем приведёт к правильному функционированию автоматизированной робототехнической платформы. Вывод значений будет осуществляться с помощью индикаторов на светодиодах на корпусе, а также данные будут отправляться на сайт управления роботизированной платформы.

### Источники

1. Васильев В. Аккумуляторы в мире портативных устройств. Руководство по аккумуляторам для неинженеров/ Васильев В. -2011. – с. 5-15.
2. Хрусталеv Д.А. Аккумуляторы/ Хрусталеv Д.А. – 2003.- с. 2-25.
3. Джереми Блум. Изучаем Arduino, второе издание/ Дж. Блум. - 2020.- с. 10-50.
4. Кашкаров А. Аккумуляторы. Справочник/ Кашкаров А. -2014.- с. 7-23.

УДК 697.1

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ АВТОДОМОВ И МОБИЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

А.З. Хакимова

Науч. рук. док. техн. наук, проф. К.Х. Гильфанов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

al.mit\_17@mail.ru

В данной работе проведен анализ устройств для отопления и охлаждения автодомов и мобильных зданий и приведено описание наиболее подходящего устройства.

**Ключевые слова:** система отопления и охлаждения, тепловой насос, мобильное здание, ДВС.

# DEVICE FOR HEATING MOTORHOMES AND MOBILE BUILDINGS

A.Z. Khakimova  
KSPEU, Kazan, Russia  
al.mit\_17@mail.ru

In this paper, an analysis of devices for heating and cooling motorhomes and mobile buildings is carried out and a description of the most suitable device is given.

**Keywords:** heating and cooling system, heat pump, mobile building, internal combustion engine.

Во время различных стихийных бедствий и войн у беженцев возникает потребность в источниках тепла, охлаждения и энергии. Во время кемпинга в лесу или на берегу моря и длительных поездках источниками энергии являются обогрев и охлаждение. Недостаточное отопление вызывает у людей дискомфорт или даже гибель, если транспортное средство застревает на дороге из-за сильного снегопада. Неопределенные периоды ожидания на границах из-за различных правил требуют компактного устройства обогрева и охлаждения для водителей. Таким образом, обеспечение комфорта в автодомах, автобусах и грузовиках вызывает большой интерес у пользователей [1]. На рынке представлено множество устройств, работающих на обогрев и выработку электроэнергии. Например кондиционер, работающий по принципу теплового насоса. Суровые погодные условия, стихийные бедствия и отдых в сельской местности (пустыни и горы) требуют наличия отопительно-охлаждающего устройства, работающего на легкодоступном топливе и имеющего малый расход топлива. Такое устройство поможет спасти жизни и поощрит сельский туризм.

Оптимальным решением этих задач может выступать устройство, потребляющее небольшое количество ископаемого топлива и способное покрывать потребности человека в течение длительного времени. Проблемой, связанной с такими устройствами, является источник энергии; это может быть ископаемое топливо или различные возобновляемые источники энергии. Возобновляемая энергия есть не везде, к тому же может увеличиться вес автомобиля, что приведет к еще большему потреблению топлива [2].

Такая переносная система отопления и охлаждения требует механической работы для привода компрессора теплового насоса, который будет обеспечивать эффект нагрева или охлаждения по мере

необходимости. Эта механическая работа может быть использована для привода генератора, вырабатывающего электричество. Малогабаритные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) исключаются по разным причинам: таким как уровень шума, который они создают, профессиональное техническое обслуживание и постоянный уход, который необходимо уделять им, чтобы они были готовы к работе. Двигатели внешнего сгорания имеют более низкий уровень шума, более длительный срок службы и практически не требуют технического обслуживания.

Такая система также использует тепловой насос и имеет возможность преобразовывать механическую энергию, полученную для нагрева или охлаждения по мере необходимости.

На сегодняшний день не существует портативного устройства, которое производит как обогрев, так и охлаждение, подходящее для автодомов или в пунктах временных размещений для беженцев. Все устройства, имеющиеся в литературе и на рынке, используют топливо для отопления или производства электроэнергии. В литературе подчеркивается важность устройств ТЭЦ для транспортных средств и жилых помещений [3].

Итак, наше устройство работает по принципу теплового насоса (ТН) для оптимизации производительности. Источником энергии является ископаемое топливо, оно используется там, где нет электричества. Наше устройство обеспечивает отопление, охлаждение и выработку электроэнергии, когда это необходимо, работает на доступном топливе и экономично его расходует [4]. Поскольку устройство реализует принцип ТН для процесса нагрева, оно может быть модифицировано и для выработки электроэнергии. В качестве источника энергии используется дизельное топливо; поскольку дизель доступен днем и ночью, независимо от суровых погодных условий или стихийных бедствий. Небольшое количество ископаемого топлива может служить устройству в течение нескольких дней, что оказывает огромное влияние на спасение человеческих жизней.

### **Источники**

1. Олейник П.П. Индустриально-мобильные методы возведения предприятий, зданий и сооружений: Монография. Москва. 2021. С. 56-62.
2. Назарова В.И. Современные системы отопления // Энциклопедия строительства. 2011. С. 167-171.
3. Удовенко В.Е., Китайцева Е.Х., Паргунькин К.Е. Автономное теплоснабжение// Справочное пособие ЗАО «Полимергаз». 2006. С. 201-206

4. Тарасов В.А., Тарасова В.В., Афанасьев В.В., Ковалев В.Г., Орлов В.Н. Математическое моделирование режимов прогнозного и дежурного отопления// Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21, №3. С. 73-85

УДК 697:681.5

## **АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ СРЕДНЕГО УРОВНЯ АСУ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

А.А. Чучалов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Н.В. Богданова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

caa212000@mail.ru

В работе проведён анализ оборудования среднего уровня АСУ систем отопления и вентиляции, рассмотрены особенности и преимущества данного оборудования и предложена структурная схема АСУ системы вентиляции.

**Ключевые слова:** система автоматизации, система отопления, система вентиляции, оборудование, контроллер.

## **ANALYSIS OF THE MIDDLE-LEVEL ACS EQUIPMENT TO ENSURE THE EFFICIENT OPERATION OF THE HEATING AND VENTILATION SYSTEM OF INDUSTRIAL BUILDINGS**

A.A. Chuchalov

KSPEU, Kazan, Russia

caa212000@mail.ru

The paper analyzes the equipment of the middle level of the automatic control system for heating and ventilation systems, considers the features and advantages of this equipment and proposes a block diagram of the automatic control system for the ventilation system.

**Keywords:** automation system, heating system, ventilation system, equipment, controller.

Основой среднего уровня АСУ являются контроллеры, благодаря которым происходит управление функциональными технологическими узлами. Контроллеры — это процессорные устройства, выполняющие



управляющие программы, и модули УСО, которые подключаются к процессорным устройствам.

Как правило, средний уровень АСУ включает шкафы контроллеров энергооборудования, шкафы процессорного блока и шкафы с устройствами связи с объектом [1].

Для определения характеристик контроллера рассмотрим оборудование фирмы ОВЕН, одного из крупнейших производителей в стране.

TRM1032M — новинка контроллеров для систем отопления и ГВС, который имеет готовый алгоритм для регулирования процессов. Частные и централизованные тепловые пункты (ИТП и ЦТП) для использования в котельных;

TRM1033 — логический контроллер для автоматизации кондиционирования воздуха. Подходит для управления вентиляционным оборудованием и оборудованием для кондиционирования воздуха [2].

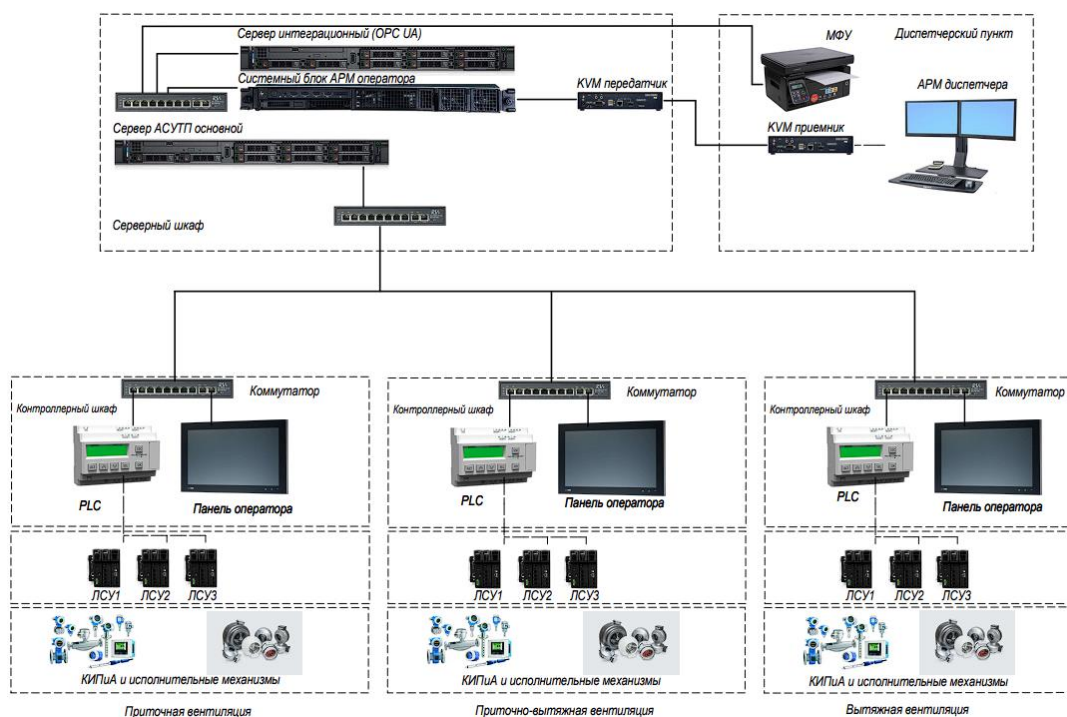
Преимущества данных контроллеров:

- универсальность – устройства могут настраивать параметры, что позволяет гибко адаптировать их к большинству систем;
- простота – благодаря готовым алгоритмам регулирования процессов, доступной для всех документации, меню на русском языке, интуитивно понятному интерфейсу настроить устройство можно в течение часа;
- безопасность – контроллер оборудован специальным выходом для отдельных и общих тревожных событий по каждому контуру.
- экономичность – в экономичном режиме устройство рассчитано на оптимальную работу днем, ночью и в выходные дни, а также позволит снизить затраты на тепловую энергию за счет меньшего потребления воды.

Основная роль контроллеров в системе заключается в сборе, обработке и передаче первичных данных на более высокие уровни, а также в обработке управляющих воздействий по запрограммированным алгоритмам управления и передаче этих воздействий на исполнительные устройства [3].

Одной из первоначальных задач проекта автоматизации является определение расположения контрольно-измерительных приборов, пунктов управления и помещения диспетчерского пункта. Структурой управления – есть комплекс составляющих автоматической системы, которые можно разделить по некоторым признакам, а также способу влияния отдельных частей друг с другом [4]. Графическое изображение структуры управления,

представляющая собой систему регулирования звеньями АСУ с указанием связей, называется структурной схемой (см. рисунок).



Структурная схема АСУ вентиляции

Таким образом, средний уровень АСУ связывает работу оборудования нижнего с управляющим воздействием верхнего, а также обеспечивает эффективную реализацию функций контрольно-измерительных приборов, дистанционного управления, автоматического регулирования и связи с подсистемой верхнего уровня.

### Источники

1. Ситников Н.Р. Оптимизация систем вентиляции различными способами // Научный электронный журнал «Оригинальные исследования». 2020. С. 10-19.
2. ОВЕН: оборудование для автоматизации. Контрольно-измерительные приборы [Электронный ресурс]. <https://owen.ru/catalog/kip> (дата обращения: 10.02.23).
3. Капанский А.А. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергоэффективности // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 2 (42). С. 103-115.
4. Синюкова Т.В., Синюков А.В. Регулирование температуры индивидуального теплового пункта изменением частоты вращения асинхронного двигателя. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021;23(4):156-165.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НАЗЕМНЫМИ БЕСПИЛОТНИКАМИ

Д.И. Шайхезадин<sup>1</sup>, Н.С. Шаронов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук А.Н. Богданов

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>nik.sharonov.03@mail.ru, <sup>2</sup>Shajhezadin2013@yandex.ru

В статье приведены описание и функциональные возможности разрабатываемого кроссплатформенного программного обеспечения с web-интерфейсом для управления самодельными наземными мобильными автоматизированными платформами.

**Ключевые слова:** программное обеспечение, мобильный робот, автоматизация движения.

## DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CONTROLLING UNMANNED GROUND VEHICLE

D.I. Shaihezadin<sup>1</sup>, N.S. Sharonov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russian

<sup>1</sup>nik.sharonov.03@mail.ru, <sup>2</sup>Shajhezadin2013@yandex.ru

The article describes the description and functionality of the cross-platform software being developed with a web interface for managing self-made ground-based mobile automated platforms.

**Keywords:** software, mobile robot, motion automation.

В ходе разработки мобильных автоматизированных платформ (МАП) с возможностью дистанционного управления через интернет [1-2] возникла задача организации связи пользователя с МАП. Данная связь должна была обеспечить возможность дистанционного ручного управления через интернет и дистанционной настройки автоматического движения МАП. Ограничивающим условием являлось отсутствие профессиональных навыков программирования у пользователя.

С этой целью для первых прототипов МАП зимой 2021-весной 2022 года было решено использовать существующую IoT-платформу remoteme.org. Данная платформа позволила протестировать дистанционное

ручное управление прототипами (рис. 1). Были выявлены недостатки, определены функциональные возможности подобного решения.



Рис. 1. Вторая версия системы управления с использованием remoteme.org

Параллельно с тестированием решения на базе remoteme.org велась разработка собственной системы, которая позволила бы исключить зависимость от иностранного программного обеспечения и обеспечить дистанционное ручное управление через интернет и дистанционную настройку автоматического движения МАП непрофессиональным пользователем.

Осенью 2022 года был разработан первый прототип данной системы (рис. 2). На начальном этапе разработанная система позволяла только управлять МАПом в ручном режиме.

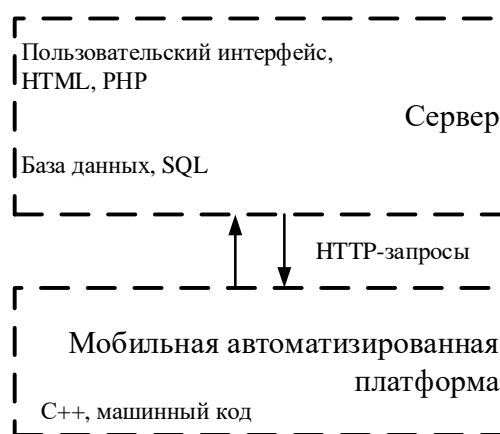


Рис. 2. Структура разработанной системы

В январе 2023 года в разрабатываемую систему была добавлена функция построения траектории движения. С интеграцией подсистем определения местоположения и препятствий решается задача дистанционной настройки автоматического движения МАП.

В феврале 2023 года подсистема дистанционного ручного управления была протестирована в ходе Онлайн-робоквеста для учащихся в Узбекистане (рис. 3). Учащиеся, находясь в Ташкенте, управляли через сайт самодельными мобильными платформами, находившимися в Казани.



Рис. 3. Тестирование подсистемы дистанционного управления

В дальнейшем разрабатываемую систему можно будет расширить до полноценной отечественной IoT-платформы [3-4].

### **Источники**

1. Шаронов Н.С., Шайхезадин Д.И. Разработка прототипа мобильной платформы для экоробота // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика: материалы конференции – Казань: КГЭУ, 2022. – Т. 2. – С. 324-327.

2. Шаронов Н.С., Шайхезадин Д.И. Разработка прототипа автоматизированной системы управления мобильного видеонаблюдения // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация": Сборник статей по материалам конференции. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 468-471.

3. Кычкин А.В., Дерябин А.И., Викентьева О.Л., Шестакова Л.В. Проектирование IoT-платформы для управления энергоресурсами интеллектуальных зданий // Прикладная информатика. 2018. Т. 13. № 4 (76). С. 29-41.

4. Ким Е.О., Шим А.А. Интернет вещей: перспективы применения // Вестник Челябинского государственного университета. 2019. № 3 (425). С. 230-234.

## Секция 6. Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений

УДК 642.02.86

### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СТЫКОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

И.Ф. Ахметгалиев

Науч. рук., канд. техн. наук, доцент, О.В. Радайкин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

info.ahmet@yandex.ru

В статье изложены современные методики расчета стыков железобетонных стеновых панелей жилых домов, рассмотрены их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** железобетонные панели, стыки, нелинейная деформационная модель, методика расчёта.

### MODERN METHODS OF CALCULATION OF JOINTS OF REINFORCED CONCRETE WALL PANELS

I.F. Ahmetgaliev

KSPEU, Kazan, Russia

info.ahmet@yandex.ru

The article describes modern methods for calculating joints of reinforced concrete wall panels of residential buildings, their advantages and disadvantages are considered.

**Keywords:** reinforced concrete panels, joints, nonlinear deformation model, calculation method.

Жилищный вопрос всегда был и остается актуальным. Для его решения самым доступным и востребованным на сегодня является строительство панельных домов из сборного железобетона. Поиски путей снижения расхода материалов и трудозатрат на возведение таких объектов являются приоритетными.

Наиболее ответственными элементами панельных домов являются стыки стен и перекрытий. Для расчетов стыков разработаны различные методики, представленные в нормативной и научно-технической литературе.

Традиционные методики расчета стыков стеновых панелей основываются на методе предельных состояний. Это – методики

СП 335.1325800.2017 «Крупнопанельные конструктивные системы», СТО 3655401-026-2012 «Рекомендации по расчету и конструированию жилых крупнопанельных домов с применением бессварных вертикальных и горизонтальных стыков на тросовых петлевых соединениях и многопустотными плитами безопалубочного формования», «Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий к СНиП 2.08.01-85» [1].

В европейских странах для расчетов несущих конструкций строительных сооружений принято руководствоваться Еврокодами. В основе Еврокодов лежит усовершенствованный метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям. Отличительной чертой Еврокодов являются многочисленные частные коэффициенты надежности, однако их применение приводит к увеличению расхода арматуры, следовательно, к увеличению стоимости железобетонной конструкции [2].

Предельным состоянием принято называть состояние железобетонного тела, при наступлении которого объект прекращает удовлетворять предъявленным к ней требованиям прочности, т.е. теряет способность сопротивляться внешним нагрузкам и воздействиям или получает недопустимые значения деформаций или трещиностойкости.

Метод является простым и надежным, однако имеются некоторые недостатки, например, приходится оперировать фиксированными числами, хотя некоторые коэффициенты могут меняться со временем. Это ведет к перерасходу материалов из-за имеющихся в методе запасов (коэффициентов надежности). Также не учитываются повреждения и дефекты элементов системы.

Более точное определение напряженно деформированного состояния стыков с учетом физической нелинейности бетона и арматуры позволит вскрыть резервы несущей способности, жесткости таких стыков, что может быть выполнено на основе нелинейной деформационной модели [3].

При расчете прочности, усилия и деформации в сечении железобетонной панели, перпендикулярном к ее продольной оси, определяются на основе нелинейной деформационной модели, использующей уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в сечении элемента. Модель названа нелинейной, так как включает в себя нелинейные уравнения, описывающие взаимосвязь между напряжениями и деформациями железобетонного элемента. Иначе говоря, формулы описывают, какие напряжения в сечении железобетона вызывают различные деформирующие усилия.

Однако, создание единой методики расчета, универсальной, либо подходящей для всех применяемых на сегодняшний день типов стыков

железобетонных панелей, основанной на нелинейной деформационной модели является трудновыполнимой задачей. Начиная с середины 50-х велись активные исследования стыков панелей, которые в основном проводились в ЦНИИСКе им. Кучеренко и ЦНИИЭП жилища. Результатом работ стали полученные экспериментальные данные о поведении железобетонных конструкций под нагрузкой. Анализ этих работ показывает, что на прочность стыков влияет огромное количество факторов, не учитываемых при проектировании [4].

Учесть все эти факторы позволяет компьютерное или математическое моделирование стыков в электронных программных комплексах: ЛИРА, SCAD, ANSYS. В них физическая нелинейность материалов учитывается диаграммой зависимости напряжений от относительных деформации. В совокупности с теорией сопротивления анизотропных материалов к сжатию, в которой описана модель разрушения бетона, воспринимающей усилия сжатия, компьютерное моделирование позволяет достаточно точно описать поведение железобетонной конструкции в напряженно деформированном состоянии [5].

Таким образом, разработка компьютерных моделей различных типов стыков в современных программных комплексах, при расчете которых учтены физическая нелинейность железобетона и модель ее поведения при сжимающих усилиях, позволит вскрыть скрытые резервы прочности материалов, что в свою очередь позволяет снизить материалозатраты при строительстве панельных зданий, а значит снизить и стоимость строительства здания в целом.

### **Источники**

1. Цветкова, А.А. Жесткость стыков сборных железобетонных стеновых панелей на сдвиг в их плоскости до момента трещинообразования / А.А. Цветкова // Инженерные исследования - №4 – СПб: 2022 – С. 26-33.

2. Яковлев С.К. Расчет железобетонных конструкций по Еврокоду EN 1992: в 2 ч.: учебно-методическое пособие / С.К. Яковлев, Я.И. Мысляева; М-во обр. и науки РФ, МГСУ - М: 2015 – 203с.

3. Радайкин, О.В. Диаграммные методы расчета железобетонных конструкций: Учебно-методическое пособие для магистрантов направления подготовки 08.04.01 «Строительство» по дисциплине «Диаграммные методы расчета железобетонных конструкций» /О.В. Радайкин, И.Т. Мирсаяпов. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун.-та, 2019. – 45 с.



4. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып.3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). // ЦНИИЭП жилища. М.: Стройиздат, 1989. - 304 с.

5. Никитин, Г.П. Прочность горизонтальных стыков бетонных конструкций зданий и сооружений: автореферат дис. канд. наук / Г.П. Никитин – Казань: 2007 – 24 с.

УДК621.314.21:543.544

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ГАЗО-ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

Ву Нгок Дан

Науч. рук. док. хим. наук., проф. Новиков В.Ф.

Экономический университет-технологии для промышленности, Ханой, Вьетнам

vndan@uneti.edu.vn

В работе рассмотрена проблема определения органических растворителей методом газо-жидкостной хроматографии. Был проведен количественный анализ веществ, выделяющихся из трансформаторного масла. Приведена хроматограмма разделения фурановых соединений в экстракте трансформаторного масла. Определена зависимость логарифма приведенного объема удерживания алканов от числа атомов углерода в их молекуле для различных сорбентов, которая имеет линейный вид.

**Ключевые слова:** хроматография, трансформаторное масло, пламенно-ионизационный детектор, капиллярная колонка, диагностика.

## **DETERMINATION OF ORGANIC SOLVENTS BY THE METHOD OF GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHY**

Vu Ngoc Dan

University of Economics - Technology for Industries, Hanoi, Vietnam

vndan@uneti.edu.vn

The paper considers the problem of determination of organic solvents by gas-liquid chromatography. The concentrations of individual components released from transformer oil. The dependence of the logarithm of the reduced volume of alkane retention on the number of carbon atoms in their molecule for various sorbents, which has a linear form, is determined.

**Keywords:** chromatography, transformer oil, flame ionization detector, capillary column, diagnostics.

Известно, что трансформаторное масло, применяемое в трансформаторном электрооборудовании – это диэлектрик, обеспечивающий функции охлаждающей среды. Для диагностики трансформаторов необходимо осуществлять контроль состояния трансформаторного масла, что и осуществляется инструментальными методами, в частности хроматографией.

Для контроля трансформаторного масла определяют различные его дефекты, например электрические разряды в изоляционном масле, искрообразование в контактных соединениях, увлажнение и загрязнение изоляции, попадание воздуха в систему и др.[1-3].

Традиционным методом определения состава органических растворителей является газо-жидкостная хроматография на насадочных хроматографических колонках, заполненных сорбентах. Для определения органических растворителей нами были исследованы сорбенты, полученные на основе трифенильных производных элементов пятой группы Периодической системы. На исследованных сорбентах были определены хроматографические факторы полярности Роршнайдера, численные значения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Хроматографические факторы полярности Роршнайдера.

№/ пп	Сорбент	Хроматографические факторы полярности, 100°С				
		Бензол(x)	Этанол(y)	Метилэтилкетол(z)	Нитро-метан(u)	Пиридин(s)
1	Трифениламин	0.65	2.95	2.30	2.81	1.36
2	Трифенилфосфин	1.65	2.74	1.83	3.09	1.96
3	Трифенилларсин	1.46	3.03	2.70	2.72	1.61
4	Трифенилстибин	1.35	2.18	1.56	2.76	1.66
5	Трифенилвисмутин	1.47	2.18	2.04	3.13	1.98

Как видно из таблицы исследуемые сорбенты характеризуются относительно низкими значениями хроматографических факторов полярности, которые обусловлены влиянием центрального атома элемента. Из всего ряда исследуемых сорбентов наиболее высокие значения хроматографических факторов полярности (y), (z), наблюдаются для трифенилларсина.

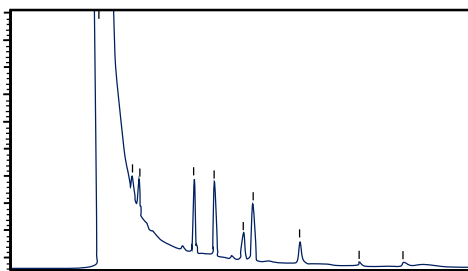


Рис. 1. Хроматограмма разделения фурфуровых соединений в экстракте трансформаторного масла (экстрагент н-Бутанол).

1. н-Бутанол; 4. Фурфурол; 5. Ацетилфурфан; 7. Метилфурфурол; 8. Фурфуриловый спирт. Насадочная колонка: длина 2 м, внутренний диаметр 0.3 мм. Сорбент – трифенилфосфин на хроматоне N. Температура колонки 120°C.

При этом для всего ряда исследуемых сорбентов зависимость логарифма приведенного объема удерживания алканов от числа атомов углерода в их молекуле имеет линейный характер с различным наклоном кривых (рис.2).

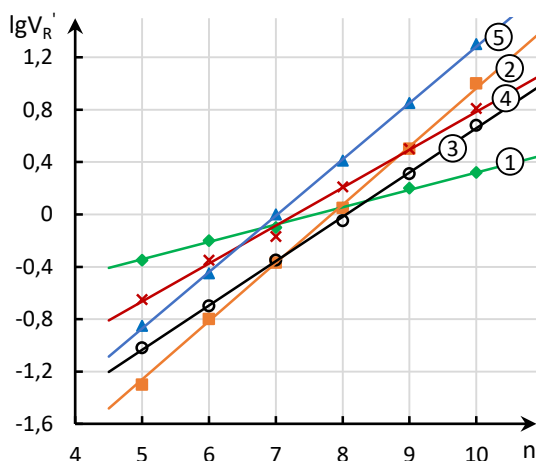


Рис. 2. Зависимость логарифма приведенного объема удерживания алканов от числа атомов углерода в их молекуле. Сорбенты получены на основе трифенильных производных элементов пятой группы Периодической системы ряда: 1. N; 2. P; 3. As; 4. Sb; 5. Bi.

Низкие значения хроматографических факторов полярности исследуемого ряда сорбентов не позволили добиться селективного разделения органических растворителей. Поэтому, в настоящей работе была использована высокоэффективная капиллярная хроматографическая колонка, с использованием которой были детально исследованы селективные характеристики органических растворителей. С этой целью работу проводили на газо-жидкостном хроматографе марки «Хромос ГХ-1000». Детектор – пламенно-ионизационный. В качестве хроматографической

колонки применяли капиллярную колонку из кварцевого стекла; длина – 30 м, внутренний диаметр 0,32мм. Хроматографический анализ проводили в двух режимах: в изотермических условиях и при программировании температуры колонки. Дозирование веществ осуществляли с помощью автоматического жидкостного дозатора ДАЖ-23.

#### **Источники**

1. Новиков В.Ф. Диагностика маслonaполненного электрооборудования хроматографическими методами.// В кн. Новые технологии, материала и оборудования. В 3т. / Под общ. Ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинов. – Казань. Казан. Гос. Энерг. ун-т. 2018. Т. 3. С. 138 – 160.

2. Yokenbah E., Borsi H. Condition and diagnosis of power transformers // International conference on condition monitoring and diagnostic.-2008.-p.21-24.

3. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В.. Инструментальные методы анализа. В трех частях. Ч.III. Газохроматографический контроль производственных процессов в энергетике: Монография. Под редакцией профессора В.Ф. Новикова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун – т. 2018. – 328с.

УДК 628.517

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Ф.Н. Закиров

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент А.В. Ахмеров

ФГБОУ "КГЭУ", г.Казань

fanis.zak.00@mail.ru

В статье предложены методы снижения уровня звукового шума за счет уменьшения акустического шума непосредственно на источнике и на пути распространения от источника. Были рассмотрены физические явления, характеризующие звукопоглощающие свойства ограждающих конструкций.

**Ключевые слова:** звукоизоляция, звукопоглощение, акустические волны, акустический шум.

## STUDY OF FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF SOUND INSULATION METHODS OF HEAT EQUIPMENT

F.N. Zakirov  
KSPEU, Kazan, Russia  
fanis.zak.00@mail.ru

The article proposes methods for reducing the level of sound noise by reducing acoustic noise directly at the source and on the propagation path from the source. The physical phenomena that characterize the sound-absorbing properties of building envelopes were considered.

**Keywords:** sound insulation, sound absorption, acoustic waves, acoustic noise.

Энергетические объекты в целом и теплоэнергетическое оборудование в частности принадлежат к значительно воздействующим на биосферу окружающей среды. Одной из причин влияния на биосферу является физическое воздействие акустического шума и вибрации теплового оборудования. Источниками акустического шума могут быть двигатели, насосы, компрессоры, трубы, системы вентиляции и трубопроводы с протекающим теплоносителем и т.п. Двигатели создают шум, который вызывается механическими вибрациями, работой систем охлаждения и выхлопов [1].

Поэтому обеспечение достаточной звукоизоляции является важным научно-техническим и экологическим вопросом сохранения акустической безопасности окружающей среды [2].

Методы снижения уровня звукового шума традиционно можно разделить на две группы: снижение за счет уменьшения акустического шума непосредственно на источнике и на пути распространения от источника.

В целях гашения акустического шума непосредственно на источнике применяют мероприятия, связанные с использованием всевозможных конструктивных решений, которые направлены на подавление возникающих вибраций на поверхности источника акустического шума. К примеру, такими мероприятиями могут быть балансировка частоты оборотов до 50 Гц роторного турбоагрегата или снижение скоростей распространения рабочей среды в трубопроводах, которые являются причиной появления вибраций или звукового шум. Обычно, подобные мероприятия приводят к нарастанию массы и размеров оборудования.

На сегодняшний день подобные методы снижения акустического шума менее применительны, так как при соблюдении правил создания и эксплуатации оборудования, для уменьшения его звукового воздействия уже не идет речь об улучшении плохо спроектированного или небрежно изготовленного оборудования.

Для достижения наибольшей защиты от акустического шума энергетических источников наиболее используемыми являются мероприятия по звукоизоляции и звукопоглощения.

Для звукоизоляции применяют кожухи и экраны для ограждения работающего оборудования, которые снижают уровень поступающего шума, заграждая путь акустическим волнам. В целях звукопоглощения используются материалы, имеющие свойства диссипации акустических волн, которые размещаются с внутренней стороны оболочки, экранов или стенок кожухов.

Помимо пассивных методов снижения уровня акустического шума и вибрации, также возможно применение активных методов. Активные методы основаны на принципе генерации акустического сигнала, которая противофазна исходному источнику шума. В таком случае, благодаря системе управления излучателями генерируется акустический сигнал, противофазный исходному звуковому шуму. Этот метод позволяет гасить акустические сигналы крупных энергетических объектов благодаря звукоизоляции и активной диссипации или путем активного подавления вибрации непосредственно на источнике шума[3].

Наиболее важное требование к материалам, используемым для звукопоглощения, характеризуется ее высокопористой структурой. Помимо этого, параметры структуры также влияют на эффективность звукопоглощающих характеристик, зависящих от типа наибольшего числа частоты акустических волн в исследуемом объекте.

Звукопоглощающие свойства материалов зависят от физического явления, которое происходит при гашении акустической волны пористой средой. Она заключается в том, что когда звук попадает на поверхность звукопоглощающего материала, находящийся в порах материала воздух, возбуждает собственные колебания, тем самым гася большую часть акустических колебаний. Гашение акустических колебаний сопровождается небольшим количеством выделения тепла, которая возникает из-за высокой степени концентрации и давления воздуха в пористой части материала. Тем самым, происходит преобразование кинетической энергии акустических колебаний в выделение тепла, далее рассеивающегося в окружающей среде [4].

Гибкая деформация оболочки изоляционного материала также способствует уменьшению энергии поступающих акустических колебаний. Подобный эффект наблюдается при пористости объемов изоляционных материалов, превышающих 78%.

В целях звукоизоляции используют многослойные конструкции, характеристики материалов которых оказывают наибольшее сопротивление поступающим как ударным путем, так и по воздуху акустическим колебаниям.

Звукопоглощающие свойства ограждающих конструкций характеризуются тремя основными физическими явлениями:

1. их способностью отражать акустические волны, передающиеся по воздуху от наружного слоя;

2. количества проходящих через звукоизолирующий материалакустических волн;

3. количества рассеянного акустического колебания, преобразуемого путем деформации ограждающих конструкций оборудования и звукоизолирующих материалов.

Также, целях повышения отражения акустических волн наружными ограждающими конструкциями зданий теплоэнергетических систем традиционно применяют массивные конструкции, избегая каких-либо шероховатостей и дефектов.

### **Источники**

1. Тупов В.Б. Снижение шумового воздействия от оборудования в энергетике – М., 2004. – 285 с.

2. Жданов С.А., Разработка экологических инновационных технических устройств ослабления акустического «низкочастотного» излучения электротрансформаторной подстанции закрытого типа // Материалы докладов XI Международной молодежной научной технической конференции Тинчуринские чтения. 2016. С. 294-295

3. Повышение эффективности звукоизоляции энергетического оборудования / А. В. Кирюхин, С. П. Бобров, В. А. Таран, А. П. Железнов // Теплоэнергетика. – 2022. – Т. 12. – № 12. – С. 23-30.

4. Хакимуллин, Б. Р. Основные требования к звукопоглощающим и звукоизолирующим теплоизоляционным материалам / Научному прогрессу – творчество молодых. – 2021. – № 2. – С. 167-169.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ

Д.В. Иванов

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент. А.В. Танеева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
Ivanovdanila562@gmail.com

В работе обоснована актуальность использования биогаза как альтернативного источника энергии. Показано, что производство биогаза ставится все более привлекательным для инвесторов, так как может гарантировать дополнительный источник дохода от продажи органических удобрений и сокращения платы за безопасную (безвредную) утилизацию органических отходов.

**Ключевые слова:** Биогаз, биогазовая технология, техногенный след, повышение эффективности.

## USE OF BIOGAS FOR HEAT SUPPLY

D.V. Ivanov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
Ivanovdanila562@gmail.com

The paper substantiates the relevance of using biogas as an alternative energy source. It is shown that the production of biogas is becoming increasingly attractive to investors, as it can guarantee an additional source of income from the sale of organic fertilizers and a reduction in fees for the safe (harmless) disposal of organic waste.

**Keywords:** Biogas, biogas technology, man-made footprint, efficiency improvement.

Биогазовая энергетика в современном обществе встречается все больше, траектория поиска и использования вторичных, экологических и возобновляемых ресурсов как никогда в другое время сейчас отражается на развитие данной отрасли. Одно из таких решений “способы хранения свалочного газа”, для дальнейшего эффективного использования в различных отраслях. Еще одним способом является не посредственное использование биогаза близлежащими промышленными или административными зданиями в качестве энергии для теплоснабжения [1]. Для того чтобы собрать и хранить продолжительное время, а также для использования биогаза нам нужны устройства, сконструированные для



того, чтобы собранным биогазом можно было пользоваться в дальнейшем при необходимости. Так же нужно применить метод метанового брожения, что значительно увеличит эффективность получаемого газа для утилизации в газовых котлах. Это нужно в том числе чтобы соответствовать всем экологическим требованиям и благодаря этому можно снизить к нулевым показатели загрязнения земли и грунтовых вод, а эффективность при использовании можно будет сравнить с природным газом [2].

В настоящее время получение энергии является одним из более значительных следствий техногенного загрязнения окружающей среды, то есть основывается по своей природе на использовании не возобновляемого сырья углеводородного происхождения и подкрепляется выбросами и сбросами вредных веществ в нашу атмосферу, водохранилища и оказывает пагубное влияние на почвы при его добыче и использовании. Понимая ответственность, которую, мы несем за загрязнение окружающей среды перед нашими современниками и будущим обществом, все больше отечественных компаний, сюда же относится и непосредственно нефтегазовый сектор, разрабатывают проекты и реализуют методы по повышению эффективности производства при уже осуществляемом сокращении воздействия на природу и здоровье человека [3].

При этом необходимо понимать, что экологический след и влияние закладываются еще на этапах производства, поставки, передачи продукции и ее использования. В современной рыночной среде нужно задаваться вопросами не наиболее экологически нейтрального вреда продукции, оказываемого минимальным экологическим воздействием на каждом из перечисленных этапов, а поиску и добавлению гибкости, и большему использованию альтернативных источников энергии. Компании ТЭК хоть и ведут риторику положительных решений не в угоду выгода, производить экологически безопасную продукцию (услугу) с использованием наилучших доступных технологий для экологически ответственного потребителя, но осуществляют данные обязательства не так часто [4].

Несмотря на это существует множество мнений экспертов, в том числе и члены Международного газового союза, которые сходятся в своих идеях, что традиционный природный газ является топливом переходного периода на пути к преимущественному использованию возобновляемых источников энергии. На данный момент биоэнергетику однозначно можно считать одним из наиболее перспективных видов возобновляемых источников энергии не только в России, но и во всем мире [5].

Один из сегментов (а именно) производство биогаза ставится все более привлекательным для инвесторов, так как может гарантировать дополнительный источник дохода от продажи органических удобрений и сокращения платы за безопасную (безвредную) утилизацию органических отходов.

Еще одним перспективным направлением исследования в наше время становятся проекты оценки потенциала и применения технологий по использованию биогаза в промышленности, например на снижение использования природного газа, для постоянных нужд, снижение нагрузки на отопление и ГВС, по средствам по переменного использования традиционного энергоносителя и альтернативного.

### **Источники**

1. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Ахметов Т.Р. Оценка эффективности реализации программ энергосбережения. Проблемы энергосбережения в теплоснабжении. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015;(9-10):12-21

2. Дремичева Е.С., Эминов А.А. Эколого-экономические аспекты использования торфа в энергетике // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 96-108.

3. Мустафина, Г. Р. Перспективы применения биогазовой установки при утилизации органических отходов птицефабрик / Г. Р. Мустафина, А.Е. Кондратьев // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сборник материалов Третьей Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов, Екатеринбург, 09 июня 2020 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2020. – С. 88-90.

4. Калачева С.Р., Кондратьев А.Е. Лабораторная установка для исследования метанового сбраживания органических отходов с получением биогаза: Пат. RU 105449 U1, / Калачева С.Р., Кондратьев А.Е.; 10.06.2011. Заявка № 201110265; опубликовано от 10.06.2011. С-11.

5. Ахметова Р.В., Звонарева Ю.Н., Шорохов И.Р. Разработка и исследование энергоэффективных методов сжигания газового топлива в энергетических системах // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 13-23.

## **ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО АДСОРБЕНТА ДЛЯ ОСУШКИ ВОЗДУХА**

Л.И. Кариева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Е.А. Лаптева

ФГБОУ ВО "КГЭУ", г. Казань

kariyevalii@gmail.com

В статье рассматривается осушка сжатого воздуха в адсорберах. Перечислены и раскрыты виды адсорбентов. Продемонстрированы их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** осушка сжатого воздуха, адсорбер, адсорбент.

## **SELECTION OF THE MOST EFFICIENT ADSORBENT FOR AIR DRYING**

L.I. Karieva

KSPEU, Kazan, Russia

kariyevalii@gmail.com

The article discusses the drying of compressed air in adsorbers. The types of adsorbents are listed and disclosed. Their advantages and disadvantages are demonstrated.

**Keywords:** compressed air drying, adsorber, adsorbent.

Сжатый воздух применяется практически на любом предприятии во многих отраслях промышленности. Для его получения используют компрессор, сжимающий атмосферный воздух. Как правило, этот воздух имеет влажность от 30 до 90%. При его сжатии выделяется избыточная влага, которая может привести к коррозии отдельных частей установки и поломке системы в целом. Поэтому важным этапом является осушка сжатого воздуха.

Существуют 3 основных способа осушки сжатого воздуха, используемые в производстве: адсорбционные, рефрижераторные и мембранные устройства [1]. Адсорбционный способ осушки используется для глубокой осушки воздуха. Данный метод применяется в воздухоразделительных установках и в системах воздухоснабжения на производствах.

Адсорбентом является вещество, которое обладает способностью поглощения какого-либо другого вещества из газа или раствора своей поверхностью [2].

Адсорбенты делятся на углеродные и неуглеродные по химическому составу. Углеродные – это активированные угли, а также углеродные волокнистые материалы. К неуглеродным относятся силикагели, алюмогели, цеолиты.

Активированные угли являются пористыми углеродными адсорбентами, которые получают из торфа, угля, древесного материала, веществ животного происхождения. Характерной особенностью активированных углей является гидрофобность и горючесть [3].

Силикагель – самый распространенный минеральный адсорбент, обладающий отлично развитой пористостью. Основное свойство – низкая температура регенерации (100-200°C), низкая себестоимость при производстве, а также высокая механическая прочность. На внешний вид это бесцветные или светло-коричневые зерна [4].

Алюмогели получают термической обработкой гидроксида алюминия  $\text{Al}(\text{OH})_3$  при температуре 600-1000°C. Их используют для осушки газов, очистки минеральных масел, а также как основу для производства катализаторов. Их удельная поверхность составляет 200-400 м<sup>2</sup> на грамм.

Цеолиты, на самом деле, являются алюмосиликатами, включающие оксиды щелочных и щелочноземельных металлов, которые отличаются определенной структурой пор. В обычных условиях они наполнены молекулами воды, поэтому при повышении температуры цеолиты выделяют воду и кипят. Является самым молодым промышленным адсорбентом из представленных выше.

Использование адсорбента в компрессорной станции позволяет осушить влажный воздух, впитать оставшуюся влагу. Через какой-то промежуток времени, адсорбент насыщается влагой, и его способность утрачивает силу. Воздух переключается на второй адсорбер, а насыщенный влагой аппарат ставят на регенерацию. На данном этапе через слой адсорбента пропускают горячий воздух, которым адсорбент подсушивается. После – охлаждают холодным воздухом до нужной температуры, и процесс адсорбции в данном адсорбере возобновляется. Адсорбент может выдерживает от 2500 до 4000 циклов регенерации. Интервал между автоматическими циклами регенерации составляет от 4 до 8 часов [5].

Какой из сортов адсорбента использовать в определенном осушителе, зависит от объективных факторов (тип регенерации, требуемая температура точки росы, температура и давление и др.), а также от предпочтений и целей производителя. Обычно, в осушителях сжатого воздуха с холодной регенерацией используют активированный оксид алюминия либо цеолиты. А с горячей регенерацией – влагостойкий силикагель размещают внизу адсорбента, а обычный в верхней части.

Если необходима точка росы выше - 40°C, в большинстве случаев, используют активированный оксид алюминия. При точке росы ниже - 40°C применяют цеолит NaA.

Несомненно, силикагель разрушается при влиянии капельной влаги, что учитывается при применении его в адсорберах. Если же необходимо их использование, то в адсорбере в нижнем слое лучше применить водостойкий силикагель, а оставшуюся часть наполнить силикагелем марки КСМГ.

#### **Источники**

1. Лысяков Н.Н., Денисенко И.П. Осушка сжатого воздуха: 1-я Интернет-конференция «Грани науки – 2012 г.». Балаково, Россия, 2012.

2. Риполь-Сарагоси, Т. Л. Повышение энергоэффективности процесса адсорбционной осушки сжатого воздуха / Т. Л. Риполь-Сарагоси, Л. Ф. Риполь-Сарагоси // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 3(75). – С. 135-142.

3. Теоретические и экспериментальные исследования тепло- и массообмена при термохимической переработке органических отходов в активированный уголь / Н. Ф. Тимербаев, Р. Г. Сафин, Д. Ф. Зиатдинова, А. Р. Хабибуллина // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 4(44). – С. 76-86.

4. Голдаев, С. В. Совершенствование методик расчета характеристик осушителей воздуха с использованием силикагеля / С. В. Голдаев, А. А. Хушвактов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2014. – № 7-8. – С. 14-23.

5. Койшыбаев, А. Д. Исследование адсорбционного устройства для осушки попутного нефтяного газа на месторождении Кенлык / А. Д. Койшыбаев, Г. А. Баймаханов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 4 (84). — С. 205-207.

## СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИЙ

К.М. Маслов

Науч. рук.канд. техн. наук, доцент Е.А. Лаптева

ФГБОУВО «КГЭУ», г. Казань

kirill-maslov-98@mail.ru

В статье была затронута тема эмульсий, их значимости, а также было уделено внимание способам их разделения. Еще были рассмотрены установки по их сепарации, а точнее их способ работы.

**Ключевые слова:** нефтепереработка, эмульсия, разделение, водонефтяная эмульсия.

## EMULSION SEPARATION METHODS

K.M. Maslov

KSPEU, Kazan, Russia

kirill-maslov-98@mail.ru

The article touched upon the topic of emulsions, their significance, and also paid attention to the ways of their separation. Installations for their separation, or rather their way of working, were also considered.

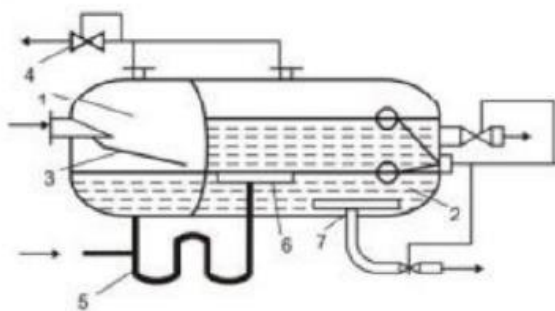
**Keywords:** oil refining, emulsion, separation, oil-water emulsion.

Одной из насущных проблем промышленности являются эмульсии, а точнее вопросы их разделения или же сепарации. Например, в нефтепереработке. Сама по себе нефтепереработка имеет ряд сложностей, связанных с обводнением нефтяных пластов [1]. И вот так появляются эмульсии. В данном случае из воды и нефти. А воздействие таких эмульсий на работу установок имеет отрицательный эффект. Они снижают безотказность работы. Поэтому, актуальность проблемы сепарации различных эмульсий в нынешнее время сложно переоценить [2-3].

Как раз, чтобы решить проблему разделения водонефтяной эмульсии, было найдено несколько способов. Существуют, например, термические, электрические, химические способы, фильтрация, использование гидроциклонов, а также метод гравитационного отстаивания. Именно последний можно рассматривать как один из самых простейших[4]. Здесь весь процесс происходит в специальных

отстойниках. Что касается преимуществ и недостатков, то гравитационный метод позволяет добиться почти полного разделения, но требует время на сам процесс и место. Установок с подобным методом немало, но есть и яркие представители. Одна из таких – концевая совмещенная сепарационная установка (КССУ). Главная цель устройства – разделить эмульсию на несколько компонентов.

Общий принцип устройства и функционирования установки следующий: сначала происходит расслоение эмульсии на воду и нефть в отстойном участке. Здесь два участка: отстойный участок разделен перегородкой с сепарационным. В последнем идет процесс разделения газа. Чтобы интенсифицировать процесс сепарации, предусмотрена наклонная плоскость. Затем перемешиваются жидкость, которая получена в сепарационном участке и вода с отстойника, уже подогретая. Весь этот процесс происходит в распределителе. В результате капли воды укрупняются. И уже в участке, где отстойник, нефть подвергается расслоению. Отсепарированные нефть и вода в конце направляются по своим направлениям (см. рисунок).



Общая схема установки (КССУ): 1 – сепарационный участок, 2 – отстойный участок, 3 – наклонная плоскость, 4 – регулятор давления, 5 – каплеобразователь, 6 – распылитель эмульсии, 7 – сборник воды.

Совершенно иная механика [5] разделения эмульсии у способа, который относят к химическим. Здесь применяются специальные химические вещества. Их еще называют деэмульгаторами. Они представляют собой поверхностно – активные вещества. Их создают уже искусственным путем. Если сравнивать с природными эмульгаторами, то поверхностная активность у искусственных выше. Именно с этим и связано то, что их используют для вытеснения с поверхности глобул. Затем идет формирование адсорбционного слоя. В свою очередь капельки воды увеличиваются и осаждаются. Это связано с тем, что слой потерял в прочности. А сам процесс интенсификации разделения эмульсии сопряжен с эффективностью деэмульгатора.

Итак, существуют несколько способов разделения эмульсий. Например, водонефтяной. К основным способам относят термические, химические методы, методы с использованием гидроциклонов и отстойников. Но не все из них получили широкое распространение. Все же, чаще всего применяются химические методы с деэмульгаторами и гравитационный способ с отстойником.

### **Источники**

1. Рябов В.А. Нефтепереработка-основа стабильности экономики // Экономика и ТЭК сегодня. – 2009. – Т. 10. – С. 26.
2. Рзаев А. Г. и др. Разработка системы управления процессом динамического отстоя нефтяной эмульсии // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2014. – №. 5. – С. 40-43.
3. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов / С. А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002 – С. 672.
4. Дмитриев А.В. и др. Моделирование процесса разделения водонефтяной эмульсии в прямоугольном сепараторе // Вестник КГЭУ, 2018, №3, с 65– 71.
5. Сафиуллин Б.Р. и др. Очистка нефти от асфальтено-смоляных и парафиновых // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022, т. 24. № 5, с. 166– 178.

УДК 621-315.2:543.544

## **ПРОБЛЕМА АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОСТАВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

А.В. Павлов<sup>1</sup>, А.В. Танеева<sup>2</sup>

Науч. рук. док. хим. наук, профессор В.Ф. Новиков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>xeopro@yandex.ru, <sup>2</sup>alinataneeva@mail.ru

В работе обсуждается проблема аналитического контроля состава трансформаторного масла с использованием хроматографических методов. Разработан алгоритм определения состава трансформаторного масла хроматографическим методом, который позволяет определять газы, выделяемые из трансформаторного масла, а также фурановые производные, образующиеся в результате деструкции бумажной изоляции.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, электрооборудование, примеси.



# THE PROBLEM OF ANALYTICAL DETERMINATION OF THE COMPOSITION OF TRANSFORMER OIL

A.V. Pavlov<sup>1</sup>, A.V. Taneeva<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>xeopro@yandex.ru, <sup>2</sup>alinataneeva@mail.ru

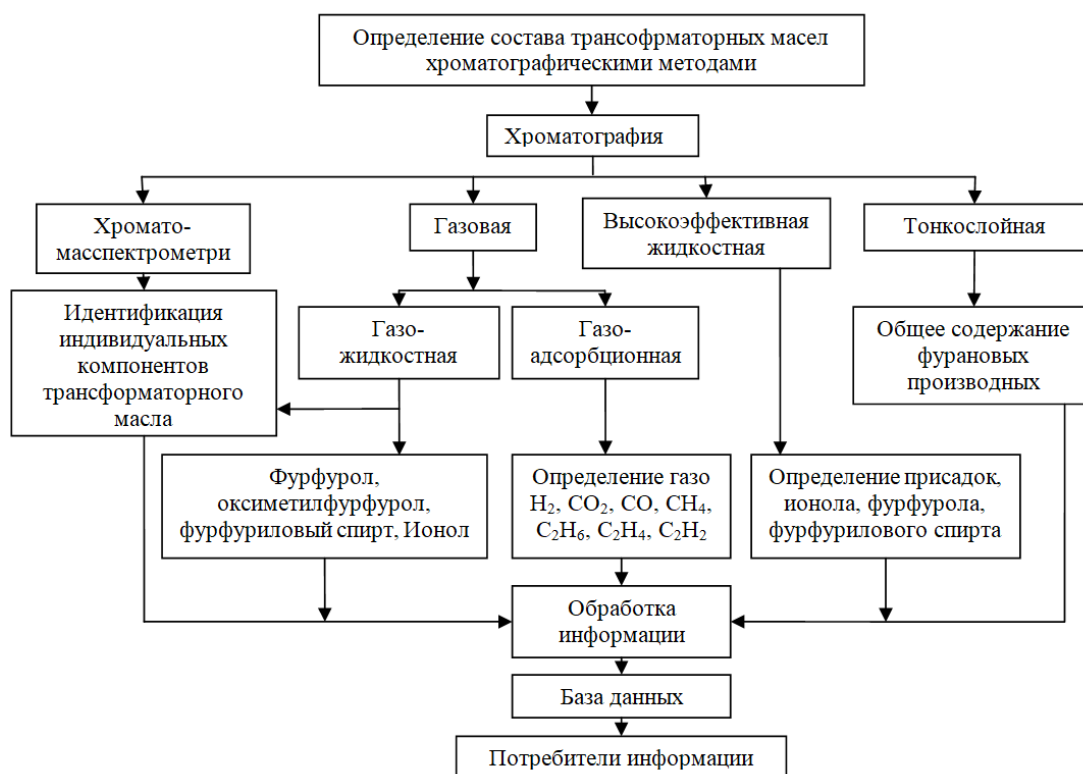
The paper discusses the problem of analytical control of the transformer oil composition using chromatographic methods. An algorithm for determining the composition of transformer oil by the chromatographic method has been developed, which allows the determination of gases released from transformer oil, as well as furan derivatives formed as a result of the destruction of paper insulation.

**Keywords:** transformer oil, electrical equipment, impurities.

Трансформаторное масло представляет собой сложный объект для аналитических исследований, так как оно состоит из большого количества углеводородных композиций. В свежее трансформаторное масло вводят антиокислительную присадку в качестве которой наиболее часто используют Инол. В случае эксплуатации маслонаполненного электрооборудования трансформаторное масло концентрирует в себе информацию о негативных процессах, протекающих в нем. Поэтому на основе анализа различных ингредиентов, образующихся в трансформаторном масле, проводят диагностику медленно развивающихся дефектов. Как правило методом газовой хроматографии определяют концентрацию газов, растворенных в трансформаторном масле, а также фурановых соединений, образующихся в процессе деструкции бумажной изоляции. Кроме того определяют содержание влаги, которая образуется в трансформаторном масле в процессе эксплуатации электрооборудования.

В последнее время для контроля за содержанием фурановых соединений в трансформаторном масле стал применяться метод тонкослойной хроматографии, который характеризуется высокой точностью определения примесных соединений, экспрессностью и простотой выполнения экспериментов [1]. При этом большое внимание уделяется процессу извлечения фурановых соединений с использованием жидкостной экстракции органическими растворителями различной физико-химической природы [2-5].

Хроматографический метод контроля содержания фурановых соединений в трансформаторном масле можно представить алгоритмом, приведенном на рисунке.



Определение фурановых производных в трансформаторном масле хроматографическим методом

Из рисунка можно сделать вывод о том, что хроматографический метод требует высокоточного хроматографического оборудования и высококвалифицированных специалистов, что делает его затратным и довольно сложным. Для наиболее полного определения индивидуальных компонентов трансформаторного масла и его примесей используют хроматомасс-спектрометрию, однако данный подход является самым сложным. Содержащиеся в трансформаторном масле газы определяют при помощи газоадсорбционной хроматографии, а извлекают газы методом равновесного концентрирования между жидкой и газовой фазами.

Для определения фурановых производных используют газо-жидкостную и высокоэффективную жидкостную хроматографию, при этом примесные соединения из трансформаторного масла извлекают жидкость-жидкостной экстракцией.

Перспективным методом определения концентрации общего содержания фурановых соединений является тонкослойная хроматография, при этом используют различные по полярности подвижные фазы. Преимущество данного метода заключается в том, что он не требует высокоточного оборудования и персонала с высокой квалификацией.

### Источники

1. Карташова А.А., Новиков В.Ф. Тонкослойная хроматография как метод контроля фурановых соединений в трансформаторном масле // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. №1-2, С. 138-145.
2. Нгуен Зун Хынг, Снигирева Ю.В., Танеева А.В., Новиков В.Ф. Влияние природы органических растворителей на процесс разделения антиокислительной присадки в трансформаторном масле газохроматографическим методом // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №6, С. 211-220.
3. Ву Нгок Зан, Новиков В.Ф. Хроматографические методы исследования органических экстрагентов трансформаторного масла // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №6, С. 202-210.
4. Ву Нгок Зан, Новиков В.Ф. Изучение сорбционных свойств органических растворителей в условиях тонкослойной и колоночной хроматографии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №2, С. 19-26.
5. Ding H., Heywood R., Lapworth G., Ruden S. Learning from success and failure in transformer fault gas analysis and interpretation // International conference on reliability of transmission and distribution networks. 2011. P. 1-6.

УДК 697-94

## РАДИАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ

Д.И. Смышляева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Д.С. Бальзамов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dina199917@gmail.com

В статье рассмотрены принцип работы радиационной системы кондиционирования, сферы применения. Описаны природные процессы, на которых основывается радиационная система охлаждения, возможность применения данной технологии совместно с тепловым насосом.

**Ключевые слова:** радиационное охлаждение, кондиционирование, излучение, ночное небо, энергоэффективность.

## RADIATION COOLING SYSTEM

D.I. Smyshlyaeva  
KSPEU, Kazan, Russia  
dina199917@gmail.com

The article discusses the principle of operation of the radiation conditioning system, the scope of application. The natural processes on which the radiation cooling system is based, the possibility of using this technology in conjunction with a heat pump are described.

**Keywords:** radiation cooling, air conditioning, radiation, night sky, energy efficiency.

Стремительное развитие систем холодоснабжения промышленных объектов требует все больших энергетических ресурсов. В настоящее время актуально развитие в плане сокращения выбросов холодильным оборудованием парниковых и озоноопасных газов (к озоноопасным газам относятся хлорфторуглероды и различные виды гидрофторуглеродов) и поиск экологически чистой альтернативы вредным хладагентам. Таким образом, вопрос развития систем холодоснабжения и кондиционирования, использование которых в дальнейшем позволит снизить негативные выбросы в атмосферу и сократить энергопотребление, является актуальным в наши дни.

Стремительный рост промышленности, внедрение инновационных архитектурных решений, а также высокие запросы к внутреннему комфорту у людей требуют все больше тепловой мощности. Соответственно, повышается спрос и на энергию для охлаждения и кондиционирования воздуха. Суть радиационного охлаждения заключается в остывании тела за счет выделения избыточного тепла в форме излучения в окружающую среду. Процесс охлаждения осуществляется в совокупности днем и ночью. В ночное время радиационный охладитель (как правило, это бетонный потолок с заделанными в нем трубами или потолок из листового металла с присоединенными змеевиками) застужает холодильный аккумулятор посредством излучения теплоты в небо, где температура более низкая, чем у поверхности земли. Также для дополнительного охлаждения может использоваться прохлада ночного воздуха [5]. В дневное время холод, накопившийся в аккумуляторе за ночь, по циркуляционному контуру подается на нужды кондиционирования воздуха или, например, на охлаждение продуктов. Для высокой производительности радиационной системы особенно важна степень пропускания атмосферой теплового излучения [1], соответственно, наилучшей энергоэффективности можно

добиться лишь при размещении оборудования в отдалении от промышленных центров или в гористой местности.

Циркуляционные контуры радиационной системы кондиционирования хороши и в совместной работе с тепловым насосом для охлаждения летом [4]. Задача теплового насоса, в этом случае, состоит в переносе теплоты из холодильного аккумулятора в тепловой. Путем охлаждения аккумулятора холода, нагревается аккумулятор теплоты. Холод, соответственно, участвует в кондиционировании помещения, а теплота идет на нужды отопления, горячего водоснабжения ночью или выбрасывается в окружающую среду, излучаясь в ночное небо. Больше всего пользы принесет данная система малоэтажным постройкам, фермам, коттеджам, находящимся в удалении от больших городов.

Система радиационного кондиционирования выдает достаточно высокую энергоэффективность в широком диапазоне средних температур в ночное время [2]. Но, как показывает практика, использование данной технологии в России, находит эффективное применение лишь для локальных систем кондиционирования, находящихся в отдаленных районах, и при малой мощности использования [3].

### **Источники**

1. Москаленко Н. И., Родионов Л. В., Хамидуллина М. С., Афанасьев И. А. Численное моделирование радиационного теплообмена // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. №Том 23, №5.

2. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергоэффективности// Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 2 (42). С. 103-115.

3. Осадчий Г.Б. Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ). Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с.

4. Karagusov V. I., Serdyuk V. S., Kolpakov I. S. [et al.]. Experimental determination of rate and direction of heat flow of the radiation life-support system with vacuum heat insulation // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2007, Issue 1. DOI: 10.1063/1.5051876.

5. Tsoy A. P., Granovskiy A. S., Baranenko A. V. [et al.]. Effectiveness of a night radiative cooling system in different geographical latitudes // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876, Issue 1. DOI: 10.1063/1.4998880.

## **К ОЦЕНКЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Р.Р. Хадиуллина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент О.В. Радайкин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань

hadiullina00@inbox.ru

В данной статье рассматривается вопрос об оценки долговечности железобетонных конструкций, а именно напорных трубопроводов на гидроаккумулирующей электростанции.

**Ключевые слова:** долговечность, железобетонные конструкции, напорный трубопровод, ГАЭС, Еврокод, предельные состояния.

## **TO ASSESS THE DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE PRESSURE PIPELINES**

R.R. Khadiullina

KSPEU, Kazan

hadiullina00@inbox.ru

This article deals with the assessment of the durability of reinforced concrete structures, namely pressure pipelines at a pumped-storage power station

**Keywords:** durability, reinforced concrete structures, pressure pipeline, pumped storage plant, Eurocode, limit states.

Принцип работы гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС) немного отличается от работы гидроэлектростанции. Отличие состоит в том, что у ГАЭС есть 2 режима работы: турбинный и насосный. Вода из верхнего резервуара перекачивается из нижнего резервуара обратно в верхний резервуар, за счет насосного режима. Перекачивая воду обратно в верхний резервуар, вода вновь поступает в верхний резервуар, где она заново используется для вращения гидравлических турбин, вырабатывающих электроэнергию во время турбинного режима. Важность расчета долговечности при проектировании железобетонных напорных трубопроводов заключается в увеличении продолжительности

эксплуатационного срока при воздействии «многоразового» использования воды в двух направлениях (вверх-вниз, вниз-вверх).

Согласно ГОСТ 27751-2014 [1] долговечность – это способность строительного объекта сохранять прочностные, физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы.

ГОСТ [1] приводит следующий перечень факторов влияния на долговечность строительного объекта: условия эксплуатации по назначению; расчетное влияние окружающей среды; свойства применяемых материалов, возможные средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их свойств.

В Еврокод-0 [2] для обеспечения необходимой долговечности требуется учитывать следующие факторы: условия эксплуатации; расчетные критерии; состав, свойства и эксплуатационные характеристики материалов; свойства грунта; выбор конструктивной системы; форму элементов конструкции и их соединений; качество изготовления и уровень контроля; применение специальных защитных мероприятий; плановое техническое обслуживание в течение расчетного срока эксплуатации.

Сравнивая оба норматива, получается, что в Еврокод-0 более детально проработан вопрос по оценке долговечности, но не затрагивается специфика напорных трубопроводов.

В СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» для определения долговечности применяют расчет по предельным состояниям второй группы, который включает расчеты: по образованию трещин, по раскрытию трещин, по деформации. В случае напорных трубопроводов образование трещин недопустимо, должна быть обеспечена непроницаемость при предварительном напряжении, так как эти конструкции находятся под давлением жидкости.

Для оценки последствий появления и развития трещин в бетоне на долговечность рассматриваемых конструкций необходимо достоверно знать напряженно-деформированное состояние трубопровода. Так как в отечественных нормах нет соответствующей методики расчета предлагается воспользоваться скандинавской методикой «Molina» (E4), которая описывает взаимодействие трубопроводов с грунтом [3].

### **Источники**

1. ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200115736> (дата обращения: 27.02.2023).

2. Еврокод 0: Основы проектирования сооружения [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.srogen.ru/upload/files/doc/proekt\\_snip/15\\_EN\\_1990.pdf](https://www.srogen.ru/upload/files/doc/proekt_snip/15_EN_1990.pdf) (дата обращения: 28.02.2023).

3. Проектирование трубопроводов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://tmb-spb.ru/proyektirovaniye-truboprovodov#MRDT> (дата обращения: 27.02.2023).

УДК 628.921.928

## МЕТОДЫ РАСЧЁТА ПРОПУСКАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО СВЕТА ОКОННЫМИ БЛОКАМИ В ЗДАНИЯХ

Л.Ф. Хайдарова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Д.В. Рыжков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[haidarova-lyaisan@mail.ru](mailto:haidarova-lyaisan@mail.ru)

Статья посвящена естественному свету в помещениях, как основному фактору работоспособности человека. Рассмотрены и выявлены основные методы расчета коэффициента естественной освещенности.

**Ключевые слова:** естественное освещение, оконные блоки, световые проемы, коэффициент, метод.

## METHODS FOR CALCULATION OF NATURAL LIGHT TRANSMISSION BY WINDOW BLOCKS IN BUILDINGS

L.F. Khaydarova

KSPEU, Kazan, Russia

[haidarova-lyaisan@mail.ru](mailto:haidarova-lyaisan@mail.ru)

**Abstract:** The article is devoted to natural light in the premises, as the main factor in human performance. The main methods for calculating the coefficient of natural illumination are considered and identified.

**Keywords:** natural lighting, window blocks, light openings, coefficient, method.

Естественное освещение имеет важное значение не только для формирования зрительного восприятия, но и играет основную роль для биологического здоровья и самочувствия человека [1]. Естественный свет



контролирует биологические часы, суточные и сезонные физиологические и психологические темпы за счет своего ритма в течении суток и в годовом цикле.

При проектировании естественного освещения ставится основная задача выбора типа, определения расположения и общей площади оконных блоков. На пропускание световых проемов влияет материал и площадь стекол, суммарная площадь оконных переплетов и коробки блока [2].

Освещенность помещений при строительстве и реконструкции зданий и сооружений различного назначения определяются величиной коэффициента естественной освещенности – КЕО, метод расчета которого содержится в СП 23-102-2003 [3].

При проведении исследования были проанализированы несколько авторов, исходя из которых нами предложены основные методы расчета светопропускания оконных блоков (таблица 1).

Таблица 1

Авторы и их методы расчета светопропускания оконных блоков

Автор	Метод
Данилюк А.М.	Графический метод, основанием которого является закон телесного угла, используется при разработке проекта и в проведении проверочных расчетов. Данный метод гласит, что КЕО – это отношение проекции на горизонтальную плоскость видимого из данной точки через световой проем телесного угла ко всей горизонтальной проекции небосвода, то есть к площади круга [4].
Киреев Н.Н.	Аналитический метод учитывает некоторые допущения в виду затруднительного учета всех факторов, влияющих на прохождение света через оконный блок. КЕО характеризуется отношением светового потока, прошедший через ячейки переплета оконного блока в помещение к световому потоку, упавший на оконный блок из наружного пространства [5].
Гершун А.А.	КЕО не постоянна, так как характер распределения яркости по небу меняется и коэффициент колеблется в некоторых пределах. Поэтому Гершун А.А. выдвигает приближенный метод, где КЕО – это отношение получающейся на данном месте освещенности к горизонтальной освещенности, имеющейся в тот же момент времени на совершенно открытом месте [6].

Сравнив методы расчета пропускания естественной освещенности авторов, указанных в выше представленной таблице, можно выделить метод Данилюка А.М.. Его метод наиболее прост и точен в расчетах, так как графически определяет, какая часть светового потока от всей небесной полусферы непосредственно попадает в расчетную точку.

Таким образом, на самочувствие, настроение и работоспособность людей положительно влияет наличие в помещениях естественного освещения. В свою очередь, методы расчета пропускания естественного света оконными блоками помогают снизить затраты электроэнергии на искусственное освещение и вентиляцию [7].

### **Источники**

1. Брейнард, Г.К. Восприятие света как стимула незрительных реакций человека/ Г.К. Брейнард, И. Провенсио // Светотехника. – 2008. – № 1. – С. 6 - 12.
2. Smith, N. Thermal performance of secondary glazing as a retrofit alternative for single-glazed windows / N. Smith, N. Isaacs, J. Burgess, I. Cox-Smith // Energy and Buildings. – 2012. – Vol. – 54. – P. 47–51
3. СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий. – М.: Госстрой России, 2005. – 82 с.
4. Данилюк, А.М. Расчет естественного освещения помещений / А.М. Данилюк. – Л.-М.: ГИСтройЛит, 1941. – 140 с.
5. Киреев, Н.Н. Аналитический метод определения светопропускания оконного блока / Н.Н. Киреев // Светотехника. – 1983. – №7. – С. 3-4.
6. Гершун, А. А. Приближенный метод определения коэффициентов освещенности с учетом отраженного противлежащими сооружениями света. / А.А. Гершун, Н.Г. Болдырев // Труды первой всесоюзной конференции по естественному освещению, вып. II. – М-Л.: Госэнергоиздат. – 1932. – С. 10.
7. Гильфанов, К. Х. Энергосберегающая система отопления объектов электроэнергетики / К. Х. Гильфанов, Р. Н. Гайнуллин, Т. Нгуен // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 1(45). – С. 46-53.

## Секция 7. Энергетическое машиностроение

УДК 621.311

### РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ДЛЯ ДЕТСКИХ САДОВ И ШКОЛ НА ОСНОВЕ ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

А.А. Абдуллин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

abdullinamir5@mail.ru

В данной статье рассмотрена исследовательская работа по обновлению удельных расчётных электрических нагрузок для средних школ и дошкольных учреждений Республики Татарстан, сделаны выводы по приведенным оценочным расчетам специалистов Ассоциации «Росэлектромонтаж».

**Ключевые слова:** Расчёт электрической нагрузки, школы, дошкольные учреждения, электрическая энергия.

### CALCULATION OF ELECTRICAL LOADS FOR KINDERGARTENS AND SCHOOLS BASED ON ACTUAL DATA IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

A.A. Abdullin

KSPEU, Kazan, Russia

abdullinamir5@mail.ru

In this article, the research work on updating the specific design electrical loads for secondary schools and kindergartens of the Republic of Tatarstan is considered, conclusions are drawn based on the estimated calculations of the specialists of the Association «Roselectromontazh».

**Keywords:** Calculation of electric load, schools, preschool institutions, electric energy.

Проектирование системы электроснабжения является одним из важнейших этапов в проекте любого строительного объекта. Расчет электрической нагрузки является основой для проектирования системы электроснабжения. Величина электрической нагрузки зависит от

стоимости прокладываемого электрооборудования. Стоимость технологического подключения определяется величиной заявленной мощности [1-3].

Исследованиями Ассоциации «Росэлектромонтаж» в части анализа получасовых профилей дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений было показано, что фактическая измеренная мощность была значительно ниже расчетной в соответствии с нормативно-техническими документами [1-3]. Обновление конкретных расчетных электрических нагрузок приведет к снижению затрат на технологическое подключение. Эта задача чрезвычайно актуальна для страны, поскольку согласно Национального проекта «Образование», к 2024 году планируется создать 230 тысяч новых мест в общеобразовательных школах, а согласно с национальным проектом «Демография» к 2024 году - 8,6 тыс. групп в дошкольных учреждениях до 7 лет. К примеру, в Республике Татарстан за 10 лет было построено более 60 средних школ и 240 дошкольных учреждений.

С 2017 года Ассоциация по заданию АО «Сетевая компания» и Министерства строительства, архитектуры и ЖКХ Республики Татарстан проводит исследовательскую работу по обновлению удельных расчётных электрических нагрузок для средних школ и дошкольных учреждений [1-3]. Использование интеллектуальных счетчиков электроэнергии позволяет выполнить эту задачу [1-3], с помощью которых также возможно: классифицировать потребителей электроэнергии; прогнозировать спрос на электроэнергию; контролировать состояние распределительного трансформатора; оценивать состояние распределительной системы [4-8]. Для прогнозирования спроса на электрическую энергию и т.д.

Как показали оценочные расчеты специалистов Ассоциации, стандарты, указанные в нормативно-технических документах, завышены в среднем в 2 раза по сравнению с реальными значениями, потребляемая мощность варьируется в зависимости от возраста объекта (чем старше объект исследования, тем больше потребляемая мощность). Это объясняется изменением количественного состава электроприемников и их характеристик (энергоэффективность). Самое высокое потребление энергии наблюдается в зимние месяцы, а минимальное - летом, что вполне ожидаемо.

Итак, существует острая необходимость в обновлении конкретных проектных нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений. Утверждение постановления приведет к экономическому эффекту и снижению потерь электроэнергии за счет

правильного выбора трансформаторов, следовательно, их экономически обоснованной загрузки. Конкретные расчетные электрические нагрузки городских и сельских дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений сильно различаются, поскольку они имеют разную заполняемость. Использование интеллектуальных систем учета электроэнергии позволит осуществлять мониторинг объектов и своевременно обновлять конкретные расчетные нагрузки.

### **Источники**

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.

3. Жилкина Ю. В. Концепции интернета вещей как способ мотивации к энергосбережению // Электрические станции. 2020. № 2(1063). С. 23-26. EDN HOOSPG.

4. Жилкина Ю. В. Экономическая безопасность России: проблемы ее международно-правового обеспечения в современных условиях // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 14(71). С. 53-65. EDN MQGDLV.

5. Федотов А.И. Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85. EDN NVAMET.

6. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66. EDN SAWUQX.

7. Nuriev M.G., Gizatullin R.M., Gizatullin Z.M. Physical Modeling of Electromagnetic Interferences in the Electronic Devices at Direct Impact of Lightning on Protection System of Building // Actual problems of electronic instrument engineering. 2018. Vol. 1. P. 355-358. DOI 10.1109/APEIE.2018.8545950. EDN AWTNWU.

8. Gizatullin Z.M., Nuriev M.G., Shleimovich M.P. Physical modeling of electromagnetic interference in unmanned aerial vehicle under action of indirect

lightning strike // 11th International IEEE Scientific and Technical Conference «Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines». 2017. P. 1-4. DOI 10.1109/Dynamics.2017.8239453. – EDN XYEYIX.

УДК 621.438

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОРОДА НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

Р.А. Абрамов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.В. Титов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rus.lindemann17@gmail.com

Водород является одним из наиболее перспективных альтернативных видов топлива для газотурбинной установки. Как известно, он является экологически чистым [1]. При его сгорании не выделяется углекислый газ. И, более того, водород не только улучшает экологические показатели газовой турбины, но и улучшает его экономичность. Целью данной работы является исследование влияния водорода на экономичность газовой турбины на разных режимах работы на примере ГТД-110.

**Ключевые слова:** газовая турбина, водород, экономичность, экология, эффективность.

## RESEARCH OF THE INFLUENCE OF HYDROGEN ON THE EFFECTIVENESS OF A GAS TURBINE

R.A. Abramov

KSPEU, Kazan, Russia

rus.lindemann17@gmail.com

Hydrogen is one of the most promising alternative fuels for gas turbines. As you know, it is environmentally friendly. When it burns, no carbon dioxide is released. And what's more, hydrogen not only improves the environmental performance of the gas turbine, but also improves its efficiency. The purpose of this work is to study the effect of hydrogen on the efficiency of a gas turbine in different operating modes using the GTE-110 as an example.

**Keywords:** gas turbine, hydrogen, economy, ecology, efficiency.

В программе АС ГРЭТ [2-3] на примере ГТД-110 был сделан расчёт двигателя на различных режимах работы (обороты  $n=2600-3000$  об/мин).

Целью исследования является сравнение суммарного часового расхода топлива и КПД двигателя на природном газе и водороде. Расчёт был сделан без учета конструктивных особенностей камеры сгорания и с допущением, что топливо подчиняется законам идеального газа [4]. Начальные данные для проведения расчета: температура наружного воздуха  $t_{н.в.}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , давление невозмущенного потока  $P_{н.}=0,101325\text{ МПа}$ , мощность двигателя  $N_{гт\gamma}=110,5\text{ МВт}$ , температура газов в камере сгорания  $t_{к.с.}=1210\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура газов на выходе из газовой турбины  $t_{вых.}=517\text{ }^{\circ}\text{C}$ , степень повышения давления  $\pi_k=14,7$ .

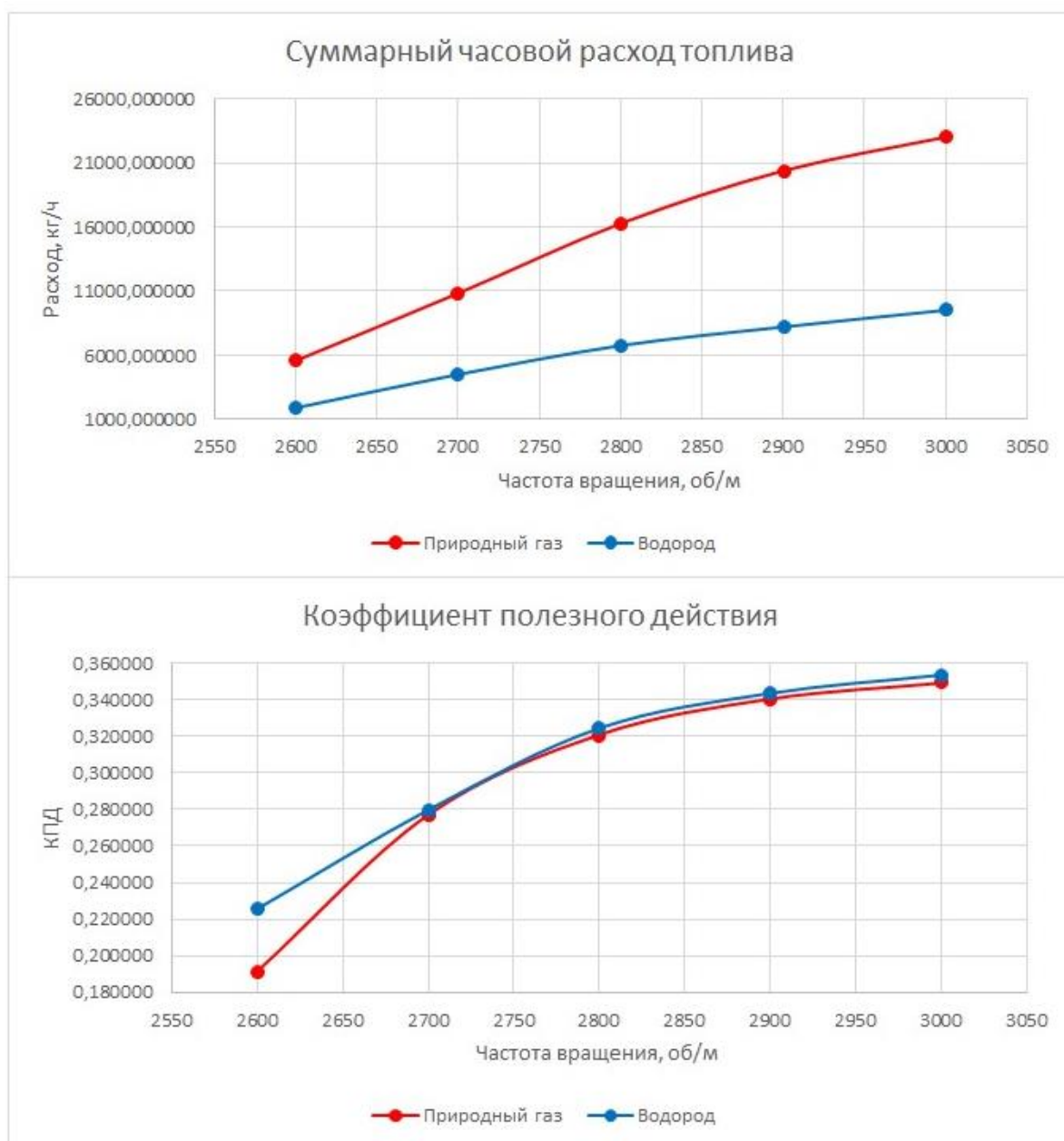


Рис. 1. Графики основных характеристик, влияющих на экономичность двигателя

Как видно из графиков, при работе на водороде двигатель имеет значительно меньший часовой расход топлива и более высокий КПД на всех режимах работы.

Была составлена математическая модель ГТД-110. На основе данной математической модели было проведено исследование влияния экономичности водородного топлива на двигатель. Водород имеет явные преимущества над природным газом, так как улучшает экономичность и экологичность ГТУ. Требуется дополнительный технико-экономический анализ для оценки финансовой выгоды от использования водорода.

### **Источники**

1. Марьин, Г. Е. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок / Г. Е. Марьин, Б. М. Осипов, А. Р. Ахметшин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 84-92.

2. Применение программного комплекса ГРАД для исследований стационарных энергетических установок / А. В. Титов, Б. М. Осипов, А. Р. Хамматов [и др.] // Тяжелое машиностроение. – 2009. – № 6. – С. 9-11.

3. Титов, А. В. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях / А. В. Титов, Б. М. Осипов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – № 4(36). – С. 17-21.

4. Марьин, Г. Е. Использование водорода в качестве топливного газа для энергетических ГТУ / Г. Е. Марьин // XXV Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, посвященная 60-летию со дня осуществления Первого полета человека в космическое пространство и 90-летию Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ. Материалы конференции. Сборник докладов. В 6-ти томах, Казань, 10–11 ноября 2021 года. Том II. – Казань: Индивидуальный предприниматель Сагиева А.Р., 2021. – С. 274-277.



## **ВНЕДРЕНИЕ ВОДОРОДА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ОТРАСЛЬ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

М.Р. Аглямов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

agl\_marat@mail.ru

В статье рассмотрена актуальность водородного топлива в энергетической отрасли России и Республики Татарстан, современные способы использования водорода, его рациональное и безопасное применение, а так же перспективы его внедрения во всё большие сферы энергетической промышленности.

**Ключевые слова:** водород, «зелёный» водород, экологический чистый, электролиз воды, возобновляемый источник энергии.

## **INTRODUCTION OF HYDROGEN INTO THE ENERGY INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN**

M.R. Aglyamov

KSPEU, Kazan, Russia

agl\_marat@mail.ru

The article considers the relevance of hydrogen fuel in the energy industry of Russia and the Republic of Tatarstan, modern ways of using hydrogen, its rational and safe use, as well as the prospects for its introduction into all large areas of the energy industry.

**Keywords:** hydrogen, «green» hydrogen, environmentally friendly, electrolysis of water, renewable energy source.

В современном быстроменяющемся мире, где население перманентно растёт с каждым днём, разрабатываются всё новые и новые методы получения большего количества энергии. Но способ её получения должен быть не только эффективным, но и экологичным [1-3]. Именно здесь на помощь приходит водородная энергетика. Водород является самым распространенным химическим элементом на Земле, а его единственным продуктом сгорания является вода, которая в последствие испаряется в атмосферу. Поэтому использование водорода в качестве топлива не вызывает загрязнения окружающей среды. Развитие

национальной водородной энергетики для России определяется поступательным и логичным ходом развития науки, технологического прогресса и продолжением устоявшейся для страны политики ресурсосбережения. На данный момент недорогие методы синтеза водорода с низким содержанием остаточного углерода включают в себя обогатительное производство на основе промышленных процессов паровой конверсии метана и улавливанием углекислого газа, а также электролиз воды на базе электроэнергии атомных и гидроэлектростанций. В период до 2035 года приоритетным и перспективным направлением для РФ считается низкоуглеродное производство водорода из ископаемого сырья, особенно с использованием технологий, обеспечивающих улавливание углерода, гидроэлектростанций, электролиза воды в сетях и, при поддержании соответствующего углеродного следа, энергогенерирующих установок [2-4].

Одним из главных факторов, стимулирующих глобальное и повсеместное внедрение водорода в энергетическую отрасль, является продолжающееся развитие водородной энергетики, включая расширения использования водородных электростанций, таких как топливные элементы и газовые турбины в различных отраслях химической, нефтехимической, и металлургической промышленности. В Республике Татарстан водородная энергетика также является одной из наиболее перспективных отраслей в развитии энергетического сектора и пользуется всеобщей поддержкой. Так, например, ПАО «КАМАЗ» рассматривает проект разработки водородного автомобиля на 18 тонн и водородного автобуса на топливных элементах. Развитие и использование транспорта на водородном топливе напрямую зависит также и от наличия водородных заправочных станций. На сегодняшний день, такая станция в первичном и единичном экземпляре имеется лишь в городе Черноголовка. Эта заправочная система полностью независима от человека и способна сама синтезировать водород на основе электролизного блока. Помимо вышеперечисленного, в Республике Татарстан, как в наиболее экономически и технологически развитом регионе России имеются все возможности для производства «зелёного» водорода. Все традиционные электростанции Татарстана производят водород методом электролиза воды, получая экологически чистый водород. К 2024 году на Нижнекамской ТЭЦ-1 планируется возвести ГТУ, которая будет сжигать в качестве горючего углеводородно-водородную смесь, являющуюся отходом нефтехимического производства. Между тем, «Росатом» инвестировал в строительство атомной электростанции в Татарстане,

которая будет производить около 400000 тонн высокочистого водорода с улавливанием диоксида углерода и планирует ввести первый блок в эксплуатацию уже в 2032-2033 годах. Уточняется, что безопасность нового сооружения удовлетворяет всем высоким современным критериям. По международным стандартам она относится к станциям четвертого поколения, то есть обладает самой высокой степенью безопасности. Таким образом, внедрение водорода в энергетическую отрасль России и в частности Республики Татарстан является одним из важнейших и перспективных направлений в развитии энергетики страны. Несмотря на то, что использование водородного топлива является более затратным, оно является безвредным для окружающей среды, человека и экологичным для нашей планеты, поэтому за водородной энергетикой стоит не только светлое и чистое будущее нашего поколения, но и десятков и сотен поколений после.

#### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

2. Ишалин А.В., Файзуллина Г.И., Марьин Г.Е. Перспективные направления получения водорода // Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова . Том 2. Казань: Общество с ограниченной ответственностью Полиграфическая компания «Астор и Я». 2021. С. 182-185. EDN VNSJQF.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-2-84-92. EDN SJMVUR.

## ВЛИЯНИЕ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ГЕНЕРИРУЮЩИЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К.А. Акулова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Р. Ахметшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

akulova.krisnina@gmail.com

В данной работе проведено исследование связи оптового рынка и генерирующего оборудования. Генерирующее оборудование – это установки, которые служат основным источником электроэнергии, но могут использоваться также, как и резервные. Оно вырабатывает активную мощность, которая должна покрыть электропотребление.

**Ключевые слова:** генерирующее оборудование, оптовый рынок, мощность.

## THE INFLUENCE OF THE WHOLESALE ELECTRICITY MARKET ON GENERATING EQUIPMENT

K.A. Akulova

KSPEU, Kazan, Russia

akulova.krisnina@gmail.com

This paper presents an analysis of the interaction of the wholesale market and generating equipment. Generating equipment is installations that serve as the main source of electricity, but can be used in the same way as standby ones. It generates active power, which must cover the electricity consumption.

**Keywords:** generating equipment, wholesale market, capacity.

Генерирующее оборудование – это установки, которые служат основным источником электроэнергии, но могут использоваться также как и резервные [1-3].

Оно вырабатывает активную мощность, которая должна покрыть электропотребление.

Оптовый рынок электроэнергии – площадка для торговли производимой и потребляемой электроэнергией, продажи которой составляют примерно 98% электрической энергии в России. Уменьшение расхода на электроэнергию – главная цель выхода на оптовый рынок.

Согласно данным на 2021 год передачу мощности на оптовом рынке осуществляло генерирующее оборудование [1] в количестве 2007 единиц. Оборудование, которое прошло проверку, включающую в себя тестирование оборудования для продолжительной работы с определенной мощностью, передает мощность на оптовый рынок. Установленная мощность электростанций России на 01.12.2021 составила 247,1 ГВт, из которых 232,2 ГВт - это установленная мощность электростанций, работающих на оптовом рынке.

Выбор состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО) проходит с целью определения системным оператором генерирующего оборудования, даже того, что находится в горячем резерве, для учета в конкурентном отборе рынка вперед на день. В случае, если совершенно несоответствие с задуманными за день объемами поставки, тогда участники приобретают, либо продают их на балансирующем рынке.

Нормами оптового рынка предусмотрено подтверждение наличия резервов мощности на работающем генерированном оборудовании, и на оборудовании, которое долгое время было в резерве. Для проверки наличия резервов мощности в 2021 году были проведены наблюдения, вследствие которых были обнаружены отклонения. Их наличие связано с различием мощности, определяемой внешними погодными факторами от мощности, заявленной участниками оптового рынка о параметрах генерирующего оборудования.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

3. Mingaleeva G. R. On the mechanism of a helical motion of fluids in regions of sharp path bending // Technical Physics Letters. 2002. Vol. 28. No. 8. P. 657-659. DOI 10.1134/1.1505541. – EDN LHGBUT.

## КПД ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ ДОЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

В. С. Астафьев<sup>1</sup>, Д.В. Захаров<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>astafev033@gmail.com, <sup>2</sup>zdanil249@mail.ru

В данной статье рассматривается, как изменится КПД работы промышленных теплоэнергетических систем при переходе газового топлива на уголь.

**Ключевые слова:** уголь, конденсационные котлы, КПД, температура.

## THE EFFECTIVENESS OF HEAT AND POWER SYSTEMS WITH INCREASING THE SHARE OF THE USE OF SOLID FUEL

V.S. Astafyev<sup>1</sup>, D.V. Zakharov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>astafev033@gmail.com, <sup>2</sup>zdanil249@mail.ru

This article discusses how to change the efficiency of industrial heat and power systems during the transition of gas fuel to coal.

**Keywords:** coal, condensing boilers, efficiency, temperature.

Проблема топливно-энергетического комплекса России выражается большой частью использования природного газа и незначительной — других ресурсов - угля, мазута и местных видов углеводородных топлив. Главной энергетической базой до сих пор остаются тепловые электростанции и котельные.

Актуальной для отечественной энергетики является переориентация на использовании твердых топлив, потому как твердого топлива в России больше чем газа [1-3]. Так как рассматривается КПД работы промышленных теплоэнергетических систем не учитываются другие факторы кроме как, эффективность работы котельных при использовании конкретного вида топлива.

Эффективность работы промышленных теплоэнергетических систем зависит от качества подготовленного твердого топлива [4-6], которая характеризуется термодинамическим КПД системы. Особенности

конструкции котлов объясняют, почему сжиженный газ лучше подходит, чем твердое топливо. Естественная тяга используется в жидкотопливных (дизельных) и твердотопливных (угольных) котлах [7]. Искусственную тягу можно использовать в газовых котлах. Среднегодовой КПД жидкотопливных и твердотопливных котлов с естественной тягой не поднимается больше 85%. Для газовых котлов с искусственной тягой данный показатель составляет 97%. Коэффициент использования теплоты сгорания твердого топлива (уголь, дрова, пеллеты) всего 68%, жидкого топлива не более 77%. Современные газовые котлы имеют коэффициент до 97%. При расчете КПД современных газовых котлов используется максимальная удельная теплота сгорания топлива. Жидкотопливные и твердотопливные котлы рассчитываются исходя из минимальной удельной теплоемкости топлива. Ситуация обусловлена высокой температурой процесса горения топлива и сложностью управления тепловой реакцией жидкотопливного котла и твердого топлива, используется процесс с естественной тягой дымовых газов. Для сжигания топлива используется процесс искусственной тяги. При работе атмосферных котлов принято выпускать в атмосферу дымовые газы вместе с парами воды при температуре выше 100 °С. Поэтому в расчете тепла котла используется не теплота конденсации водяного пара, содержащегося в продуктах сгорания, а только низшая теплота сгорания топлива. Атмосферные котлы, работающие на влажном и твердом топливе, достигают максимального КПД, когда температура охлаждения превышает 100 °С. В то время как коэффициент утилизации тепла остается низким из-за температуры паровых потоков. Так как охлаждающие жидкости (вода, тосол) закипают при температуре выше 100 °С, то охлаждающая жидкость не нагревается выше 90 °С. При рабочих температурах теплоносителя 40-80 °С КПД атмосферных котлов не превышает 85% [2]. Современные газовые котлы с принудительной тягой (конденсационные) не требуют постоянной тяги, поэтому их максимальный КПД 97-98% при любых температурах теплоносителя. Конденсационные котлы используют температуру конденсации пара для нагрева теплоносителя, и достигают максимального КПД до 110%, при температурах теплоносителя 40 °С. Коэффициент рекуперации тепла – это отношение количества тепла, полученного котлом-утилизатором, к теплу топлива, сгоревшего в топке [3]. Таким образом, коэффициент использования теплоты сгорания газообразного топлива в котлах с закрытой камерой сгорания гораздо больше чем у жидкого и твердого топлива, причем рассчитывается по высшей теплоте сгорания, так как у газа меньше примесей. Использование жидкого

топлива составляет не более 77%, а использование твердого топлива всего 68%

Газовое топливо имеет преимущества перед углем. Газ прост в использовании, в отличие от угля. Газовые станции имеют меньшие габариты. Вдобавок во время сжигания топлива в котлах не образуется зола, которую в дальнейшем необходимо утилизировать. Но существуют и серьезные недостатки. Во-первых, природный газ взрывоопасен, из-за этого требуется хранить его в специальных условиях. Во-вторых, необходима система протяжённых магистралей, для того чтобы газ попал на станцию. Её строительство весьма дорогостоящая и долговременна. Это делает сомнительным перспективы переход на газ теплоэлектростанций в Сибири.

### **Источники**

1. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.

2. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.

3. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

4. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.

5. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVB.

6. Afanasyeva O.V., Mingaleeva G.R. Comprehensive exergy analysis of the efficiency of a low-capacity power plant with coal gasification and obtaining sulfur // Energy Efficiency. 2015. Vol. 8. No. 2. P. 255-265. DOI 10.1007/s12053-014-9290-6. EDN UFPUIL.



7. Тимофеева С. С. Мингалеева Г.Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325. № 4. С. 46-55. EDN TEUBXH.

УДК 621.31

## **ВЫБОР ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННОГО РАЙОНА**

А.Р. Асыллов<sup>1</sup>, А.Е. Лазарев<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kommunist963@gmail.com, <sup>2</sup>sashalazarev11@mail.ru

В работе рассмотрено современное энергообеспечение изолированных районов России, проанализирована стоимость энергии и предложен оптимальный выбор энергоустановок, который позволяет уменьшить конечную стоимость электроэнергии.

**Ключевые слова:** энергоснабжение, изолированный район, энергоустановка, дизельные электростанции, ветровые электростанции.

## **CHOOSING A POWER PLANT FOR THE POWER SUPPLY OF AN ISOLATED AREA**

A.R. Asylov<sup>1</sup>, A.E. Lazarev<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>Kommunist963@gmail.com, <sup>2</sup>sashalazarev11@mail.ru

The article considers the current energy supply of isolated regions of Russia, analyzes the cost of energy and suggests the optimal choice of power plants, which allows you to reduce the final cost of electricity.

**Keywords:** power supply, isolated area, power plant, diesel power plants, wind power plants.

Цель данной работы – проанализировать изолированные районы России с точки зрения энергообеспечения, определить проблемы, связанные с ним и предложить оптимальное решение.

В России существует большое количество изолированных населенных пунктов и различных объектов, не подключенных к Единой национальной электрической сети (ЕНЭС).

Большая часть из них находится на территории Крайнего Севера. Как правило, локальная энергосистема данных районов обеспечивается с помощью дизельных электростанций (ДЭС). Однако, из-за расположения этих пунктов, топливо в них завозится очень сложными по логистике путями, что сказывается и на стоимости, и на времени доставки.

Согласно исследованиям Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации и Министерства энергетики Российской Федерации цена на дизельное топливо в отдельных районах республики Саха-Якутия может достигать до 80-90 тысяч рублей за тонну.

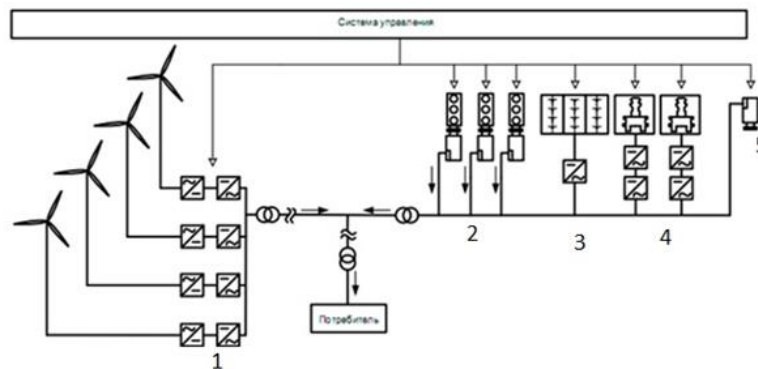
Кроме того, это топливо может и вовсе не дойти до электростанции ввиду тяжелых природных условий и слаборазвитой дорожной системы отдаленных районов страны. В конечном итоге, в отдельные годы цена за 1 кВт\*ч могла достигать до 2000 рублей.

В связи с этим возникает необходимость поиска альтернативных вариантов энергоснабжения изолированных районов страны [1-3] с целью сокращения расходов на производство электроэнергии, в том числе выбор их мощности по актуализированным нормативным требованиям [4, 5] и с минимальным воздействием на окружающую среду, рассмотрев все варианты топлив [6-9].

Одним из очевидных вариантов является использование возобновляемых источников энергии, а также совмещение их с дизельными генераторами. Использование солнечных электростанций нецелесообразно ввиду малого количества солнечных дней в году и сложных погодных условий на территории Севера.

Использование же ветро-дизельных электростанций (ВДЭС) позволит сократить потребление дизельного топлива от 20% до 80%(в зависимости от схемы подключения (см. рисунок) и увеличить срок службы ДЭС в 2-3 раза.

Таким образом, использование ВИЭ совместно с уже имеющимися дизельными генераторами позволит многократно снизить стоимость электроэнергии в изолированных районах.



Структура высокоэффективного ветродизельного комплекса:

1 – ветроустановки; 2 – дизель-генератор; 3 – аккумуляторные батареи; 4 – инерционные накопители; 5 – синхронный компенсатор.

### Источники

1. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

3. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. EDN MBYUSE.

5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

6. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского

государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

7. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVB.

8. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

9. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.

УДК 621.311

## **СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА, ПОДАВАЕМОГО В ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ**

Л.Р. Ахметзянов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Lenar-ahmetzyanov.03@mail.ru

В статье рассмотрены системы очистки воздуха для газовых турбин. Показаны различия между системами очистки воздуха.

**Ключевые слова:** газовые турбины, газотурбинные установки, фильтрация, адсорбция, центробежная сепарация.

## **AIR PURIFICATION SYSTEMS SUPPLIED TO GAS TURBINE INSTALLATIONS**

L.R. Akhmetzyanov

KSPEU, Kazan, Russia

Lenar-ahmetzyanov.03@mail.ru

The article discusses air purification systems for gas turbines. The differences between air purification systems are shown.

**Keywords:** gas turbines, gas turbine installations, filtration, adsorption, centrifugal separation.

В современной промышленной среде невозможно переоценить важность чистого воздуха, подаваемого на газовые турбины. Газотурбинные двигатели должны снабжаться воздухом, не содержащим твёрдых частиц и других загрязняющих веществ, в противном случае они могут быть повреждены и снижена эффективность [1-3]. Для обеспечения чистоты воздуха, подаваемого на газовые турбины, важно иметь надёжную и эффективную систему очистки воздуха. В большинстве систем очистки воздуха для газовых турбин используется комбинация методов фильтрации, адсорбции и разделения для удаления мелких частиц и паров из воздуха до того, как он попадёт в турбину. Эти системы предназначены для защиты двигателя от повреждений, вызванных скоплением твёрдых частиц, а также от возможности попадания токсичных или агрессивных газов и паров в турбину и причинения ущерба. Первым шагом в системах очистки воздуха для газовых турбин обычно является некоторая форма фильтрации. Обычно это связано с использованием гофрированных бумажных фильтров, которые удаляют частицы размером до 10 микрон. Эти фильтры доступны в различных размерах, причём фильтры, используемые на газовой турбине, обычно имеют эффективность фильтрации 99,7%.

Следующим шагом в большинстве систем очистки воздуха является использование адсорбционных сред. Эти материалы адсорбируют загрязняющие вещества, такие как летучие органические соединения (ЛОС) и другие газы, которые могут повредить турбину. Адсорбционная среда может быть в виде ткани, активированного угля или гранулированного активированного оксида алюминия, и каждый материал выбирается в зависимости от типа газа или пара, который необходимо удалить.

Наконец, в некоторых системах очистки воздуха используется центробежная сепарация. Это включает в себя прохождение воздуха через вращающуюся камеру, в результате чего более тяжёлые частицы отталкиваются от более лёгких. Его можно использовать для удаления частиц размером до 0,2 микрона, что делает его эффективным способом удаления мелких частиц пыли.

Системы очистки воздуха, подаваемого на газовые турбины, являются важной частью обеспечения эффективной работы турбины. Используя методы фильтрации, адсорбции и разделения, эти системы могут удалять частицы и газы, которые в противном случае могли бы повредить турбину, что привело бы к снижению эффективности и дорогостоящему ремонту. Компании, стремящиеся максимально увеличить

эффективность и срок службы своих газовых турбин, должны инвестировать в надёжную систему очистки воздуха (см. рисунок).



Схема работы ГТУ

Газотурбинные установки являются распространенным источником производства энергии в современном мире, и воздух, подаваемый на такие установки, должен быть самого высокого качества для обеспечения оптимальной производительности. Для этого были реализованы различные системы очистки воздуха, но эти системы не лишены недостатков [4, 5].

Во-первых, затраты на установку и обслуживание таких систем могут быть непомерно дорогими. Оборудование, необходимое для очистки воздуха, часто бывает сложным и требует специальных знаний для эксплуатации и обслуживания. Это может привести к высоким затратам на установку и обслуживание, что может стать значительным бременем для некоторых предприятий. Во-вторых, системы очистки могут привести к снижению эффективности газотурбинной установки. Процесс очистки может привести к уменьшению объема воздуха, подаваемого в установку, что может привести к снижению общей эффективности установки. Это может привести к снижению выходной мощности или увеличению расхода топлива, что может привести к дополнительным эксплуатационным расходам. В-третьих, процесс очистки может привести к дополнительному воздействию на окружающую среду. Системы очистки часто требуют использования химикатов или других средств для очистки воздуха, что может привести к выбросу дополнительных загрязняющих веществ в окружающую среду. Кроме того, отходы процесса очистки также могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду.

### Источники

1. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические

свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

2. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.

3. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVB.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

УДК 621.438

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В СЕЛЬСКИХ РАЙОНАХ

Т.С. Ахметзянов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Timur.akhmetzyanov.02@mail.ru

В статье рассмотрены способы использования эффективности газотурбинных установок малой мощности в сельских районах. Показаны преимущества и недостатки их эксплуатации.

**Ключевые слова:** газовые установки, газотурбинные установки, газовые турбины малой мощности.

## THE USE OF LOW-POWER GAS TURBINE INSTALLATIONS FOR POWER SUPPLY IN RURAL AREAS

T.S. Akhmetzyanov

KSPEU, Kazan, Russia

Timur.akhmetzyanov.02@mail.ru

The article discusses ways to use the efficiency of low-power gas turbine installations in rural areas. The advantages and disadvantages of their operation are shown.

**Keywords:** gas installations, gas turbine installations, low-power gas turbines.

В последние годы все более популярным становится использование газовых турбин (см. рисунок) малой мощности для электроснабжения сельской местности. Газовые турбины представляют собой тип двигателя внутреннего сгорания, который вырабатывает электрическую энергию при сгорании газа [1-3]. Они являются экономически эффективным источником энергии в сельской местности, где другие формы производства электроэнергии могут быть дорогими или труднодоступными.

Газотурбинные установки малой мощности предназначены для выработки электроэнергии в диапазоне 5-20 мегаватт. Эти заводы, как правило, меньше по размеру и дешевле в строительстве и эксплуатации, чем их более крупные аналоги. Однако это имеет несколько недостатков.

Газовые турбины чрезвычайно эффективны и могут производить энергию из природного газа, пропана или керосина. Турбины имеют низкую стоимость запуска и чрезвычайно надежны при минимальном техническом обслуживании. Благодаря своей способности быстро и надежно производить электроэнергию газовые турбины идеально подходят для сельских районов, где часто случаются перебои в подаче электроэнергии или имеется ограниченный доступ к другим источникам энергии.

Газовые турбины производят энергию более эффективно, чем традиционные источники энергии, такие как уголь или атомные электростанции [4, 5]. Они выделяют меньше загрязняющих веществ, чем другие источники энергии, что делает их более устойчивым источником энергии. Газовые турбины также требуют меньше воды, чем традиционные источники энергии, что делает их привлекательным вариантом для районов с ограниченными водными ресурсами.

Газовые турбины также являются более экономичным вариантом, чем другие формы производства электроэнергии. Они дешевле в установке



и эксплуатации, чем традиционные источники энергии, такие как уголь или атомные электростанции. Газовые турбины также требуют меньше энергии для производства электроэнергии, экономя деньги на топливе.

Помимо того, что газовые турбины являются экономичным и эффективным источником энергии, они также являются масштабируемыми. Это означает, что их можно использовать для генерации различных уровней мощности, от небольших до больших. Это делает их идеальными для сельских районов, где требуется мощность, но не требуется большая мощность.

В целом, использование газовых турбин малой мощности для электроснабжения сельской местности – отличный вариант. Они являются надежным источником энергии, эффективны и экономичны. Это делает их привлекательным вариантом для сельских районов, которые нуждаются в электроэнергии, но не имеют доступа к другим источникам энергии.

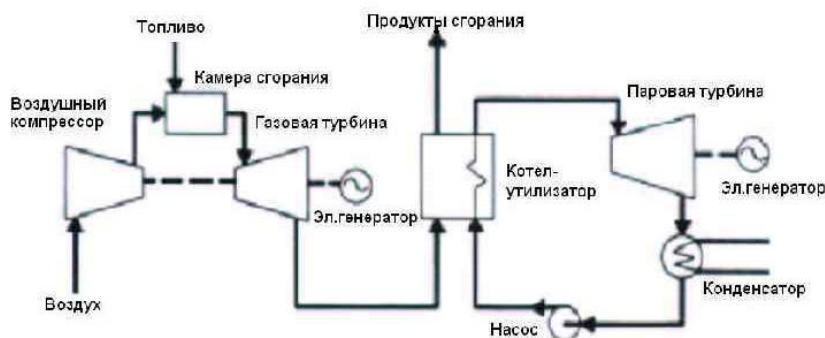


Схема работы ГТУ

Первым и наиболее заметным недостатком маломощных газотурбинных установок является их низкий КПД. Эти установки имеют КПД 25-30%, а это означает, что значительное количество энергии, используемой для выработки электроэнергии, тратится впустую. Такая низкая эффективность приводит к более высоким эксплуатационным расходам и большему воздействию на окружающую среду.

В заключение, хотя газотурбинные установки малой мощности имеют свои преимущества, они имеют ряд недостатков. К ним относятся низкая эффективность, ограниченная пропускная способность при пиковых нагрузках и снижение надежности.

### Источники

1. Соловьев И.С., Валиев Р.И., Нугманов Д.Ф. и др. Применение мобильных мини-ТЭЦ с ГТУ как важный фактор освоения труднодоступных территорий России // Молодежь и наука: актуальные

проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 172-175. EDN ERBLBC.

2. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

3. Осипов Б.М., Титов А.В., Перельштейн Б.Х. Исследование характеристик турбовального газотурбинного двигателя с отбором рабочего тела для функционирования газодинамического лазера // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 65-68. EDN YGTHLR.

4. Шишин А.А., Титов А.В., Осипов Б.М., Кривоносова В.В. Исследование впрыска воды и подвода пара в проточную часть энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9-10. С. 47-51. EDN PLRDHL.

5. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.

УДК 621.311.22

## ПОДГОТОВКА УГЛЯ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЭС

А.Л. Ахметова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

albina.akhmetova03@mail.ru

В статье представлен процесс поставки угля на тепловые электростанции (ТЭС). Рассматривается подготовка топлива перед его использованием. Целью написания статьи является изучение свойств угля и эффективность его применения. Рассмотрены преимущества данного вида топлива перед другими, так же его положительные и отрицательные стороны.

**Ключевые слова:** электроэнергия, тепловые электростанции (ТЭС), антрацит, бурый уголь, каменный уголь.

## COAL PREPARATION AND ITS USE AT DOMESTIC TPPS

A.L. Akhmetova

KSPEU, Kazan, Russia

albina.akhmetova03@mail.ru

The article presents the process of supplying coal to thermal power plants (TPPs). The preparation of fuel before its use is considered. The purpose of writing the article is to study the properties of coal and the effectiveness of its use. The advantages of this type of fuel over others, as well as its positive and negative sides, are considered.

**Keywords:** electricity, thermal power plants (TPP), anthracite, brown coal, hard coal.

Уголь – твёрдое полезное ископаемое, один из самых распространенных видов топлива для получения энергии. Почти половина мирового электричества добывается с его помощью. ТЭС вырабатывают около 59,27% электроэнергии в Российской Федерации [1-3]. Сегодня в России 78 тепловых электростанций, которые работают за счет использования угля в качестве топлива [4-6]. В данной статье рассмотрим, какие виды угля используются на ТЭС, его поставку и подготовку, положительные и отрицательные стороны данного вида топлива, экологические последствия от его сжигания и сделаем выводы.

На электростанциях используют разные виды угля: бурый, каменный уголь и антрацит. Последний используют крайне редко из-за высокой стоимости, тем более, хоть он и имеет высокую горючесть, но загорается только при температуре +600–700°C. Какой именно вид топлива используется зависит от нескольких факторов: 1. Процентное соотношение углерода и количество теплоты, которое можно получить при сгорании. 2. Месторасположение ТЭС от места добычи угля и способ его транспортировки на электростанцию. 3. Характеристики угля и его соответствие оборудованию на станции, ведь важно знать, подходит ли данный вид топлива для очистительного оборудования, так как его создают под определенный род угля [7-9].

На тепловую электростанцию уголь попадает по железной дороге. Топливо-транспортный цех станции отвечает за своевременное пополнение запасов угля и его доставку в котлы. На разгрузку одного вагона уходит несколько секунд, в день на ТЭЦ, в зависимости от её размера, опрокидывают около 80 таких вагонов. Но прежде, чем загрузить уголь на склад и начать сжигать в котле, энергетики должны проверить партию на соответствие нормам химических показателей. Например, калорийность, доля влаги, содержание золы и серы. Проверка проходит в два этапа: механическая проба и ручной анализ. Для взятия образца

применяют шнековый пробоотборник, но на некоторых станциях пробы берут вручную. Дальше уголь предварительно дробят на мелкие кусочки до 2,5 миллиметров, так как его размеры могут варьироваться в пределах до 30 сантиметров. После этого часть топлива складывается, а другая поступает по конвейерам в котлы. Чтобы уголь не возгорался, его утрамбовывают.

Использование угля экономически выгоднее, чем другие виды топлива, так как он дешевле и его в России в избытке. Но есть и недостатки – огромный вред окружающей среде и низкая теплота сгорания. Страны ЕС уже отказались от использования угля в качестве топлива и перешли на более чистый газ [4]. Сжигание угля, состоящего из практически чистого углерода, высвобождает в атмосферу огромное количество углекислого газа, который, как известно, является одним из самых главных парниковых газов.

В настоящее время уголь – это самый эффективный вид топлива, ведь его хватит на продолжительное время, в то время, как запасы нефти и газа быстро истощаются. Ядерное топливо вызывает опасения, а возобновляемые источники подходят не для всех местностей. Будущее стоит за использованием угля, ученым остается придумать способ уменьшить опасность выбросов, улучшить технологию добычи и его эффективности.

### **Источники**

1. Afanasyeva O.V., Mingaleeva G.R. Comprehensive exergy analysis of the efficiency of a low-capacity power plant with coal gasification and obtaining sulfur // *Energy Efficiency*. 2015. Vol. 8. No. 2. P. 255-265. DOI 10.1007/s12053-014-9290-6. EDN UFPUII.

2. Тимофеева С. С. Мингалеева Г.Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике / С. С. Тимофеева, // *Известия Томского политехнического университета*. 2014. Т. 325. № 4. С. 46-55. EDN TEUBXH.

3. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р., Добронравов А.Д., Шамсутдинов Э.В. Комплексное использование золошлаковых отходов // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. 2015. № 7-8. С. 26-36. EDN UYCPJI.

4. Mingaleeva G. R. On the mechanism of a helical motion of fluids in regions of sharp path bending // *Technical Physics Letters*. 2002. Vol. 28. No. 8. P. 657-659. DOI 10.1134/1.1505541. – EDN LHGBUT.

5. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой

распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.

6. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.

7. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

8. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.

9. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVB.

УДК 621.31

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

А.А. Бакинский

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент А.В. Титов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ru

В статье рассматривается водород как топливо для газовой турбины. На сегодняшний день обеспечение экологически безопасного производства тепловой и электрической энергии является одной из приоритетнейших задач стран всего мира. Для выполнения этой важной задачи наряду с возобновляемыми источниками энергии таких как солнечные электростанции, ветровые электростанции, серьезно рассматривается глубокое внедрение во все технические процессы топливно-энергетического комплекса водородных технологий. Приводятся обзор исследований, изучающих этот вопрос и взвешиваются достоинства или недостатки этого топлива. Для дальнейшего внедрения на тепловых электрических станциях.

**Ключевые слова:** водород, газотурбинная установка, турбина, топливо.

## APPLICATION AS GAS TURBINE FUEL

A.A. Bakinskiy  
KSPEU, Kazan, Russia  
bakinskiy2311@mail.ru

The article considers hydrogen as a fuel for a gas turbine. To date, ensuring the environmentally friendly production of heat and electricity is one of the top priorities for countries around the world. To accomplish this important task, along with renewable energy sources such as solar power plants, wind power plants, the deep introduction of hydrogen technologies into all technical processes of the fuel and energy complex is seriously considered. A review of studies examining this issue is given and the advantages or disadvantages of this fuel are weighed. For further implementation at thermal power plants.

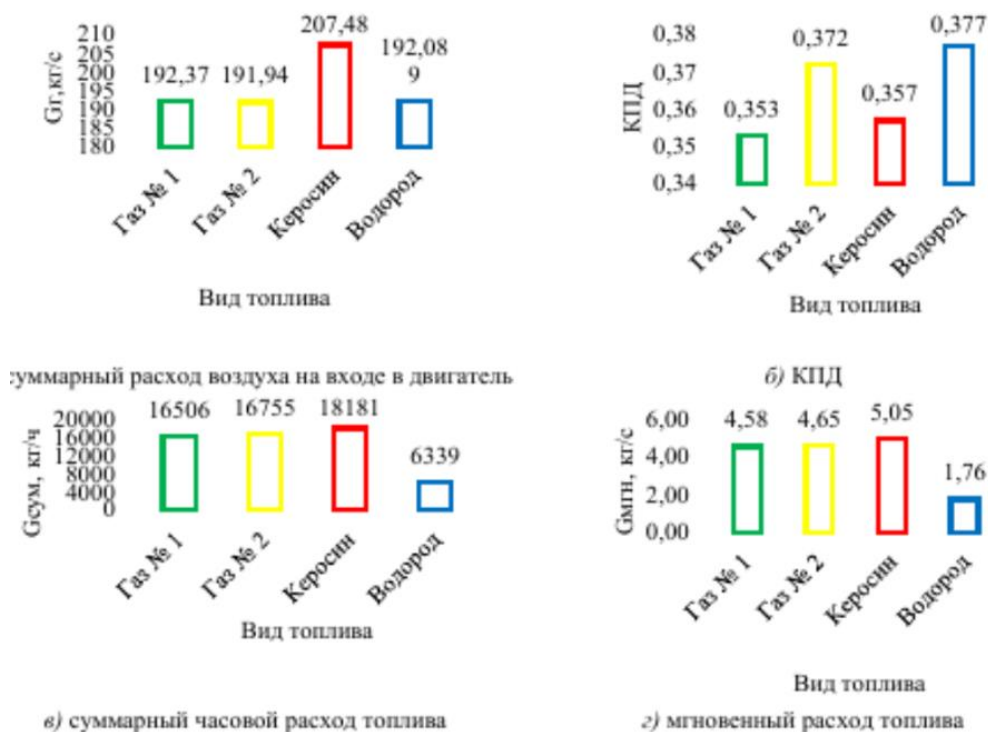
**Keywords:** hydrogen, gas turbine plant, turbine, fuel.

В современных условиях снижение выбросов парниковых газов в атмосферу является важной задачей.

В качестве одного из возможных путей снижения вредных выбросов рассматривается развитие водородной энергетики и перевод энергетического сектора на газо-метано - углеводородное топливо. К 2024 году должны быть изготовлены и проведены испытания ГТУ на метано-водородном топливе и должны быть реализованы проекты по выработке газа.

Обзор исследований, изучающих работу ГТУ на водородном топливе. В исследованиях, вошедших в обзор, изучались горение и влияние водорода на стабильность пламени, а также технические нюансы, возникающие при добавления водорода в топливную смесь [1-3]. В одной из работ выяснили, что при изменении формы пламени для различных долей водорода, возможен срыв огня, который представляет собой опасность. В некоторых газовых турбинах при 50 об. % водорода в настоящее время возможно смешивание до 60 процентов, а некоторые поставщики стремятся увеличить это соотношение даже к 100 процентам объединения производителей турбины [4-6]. Это требует более детальных исследований, чтобы понять полное обогащение водородом горения. Несмотря на заявления производителей о соотношениях смешивания от 60 % до 100 процентов по объему и выше в газовых турбинах с обычными камерами сгорания при длительном воздействии извне (сроков менее 10 лет), реальный опыт использования чистого водорода для нагревания котлов-газогенераторов был ограничен низким содержанием воды — всего

30—50 г/л), например 14 % водорода, который подается в газовую турбину в течение 20 000 эквивалентных часов работы. Результаты анализа характеристик ГТУ приведены на рисунке.



Результаты расчетов характеристик ГТУ

Необходимо более тщательное исследование, чтобы понять полное обогащение водородом горения. Несмотря на утверждения производителей о соотношениях смешивания от 60 до 100 процентов по объему в газовых турбинах с обычными камерами сгорания при длительном воздействии извне (сроков менее 10 лет), реальный опыт использования чистого водорода для нагревания котлов - газогенераторных установок был ограничен низким содержанием воды всего 30 50 г / л). Первая в мире диффузионно-пламенная камера сгорания с газовой турбиной, работающей на 100 % водороде была успешно введена.

Газовая турбина должна иметь больше эксплуатационных возможностей, таких как большее количество пусков и более короткие сроки пуска. Альтернативные возможности газовой турбины в будущем будут расширенными: тепловой режим с коротким временем запуска для удовлетворения требований рынка возобновляемых источников энергии. Широкое внедрение электрических станций с применением водородного топлива позволит обеспечить необходимый уровень декарбонизации.

## Источники

1. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.
2. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.
3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-
4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-
5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-
6. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА В СОВРЕМЕННЫХ ТЭЦ

А.С. Ботова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nastyabotova03@mail.ru

Данная статья посвящена вопросу о том, что действующие угольные теплоэлектростанции (ТЭЦ) не отвечают современным экологическим требованиям и недостаточно эффективны. В данной работе представлены основные аспекты развития мировой энергетики в эпоху энергетического перехода. Тенденции развития мировой энергетики в эпоху энергетического перехода – Четвертый энергетический переход. Речь идет о применении взамен угля свежего источника энергии – водорода, и, в соответствии с этим, о модернизации и реконструкции ТЭЦ под данный тип горючего. Выбранное и аргументированное проектное заключение нацелено на инновационное становление и заключение большого количества задач.

**Ключевые слова:** план развития энергетики, ТЭЦ, водородное топливо, возобновляемые источники энергии, модернизация.

## THE USE OF HYDROGEN IN MODERN THERMAL POWER PLANTS

A.S. Botova

KSPEU, Kazan, Russia

nastyabotova03@mail.ru

This article is devoted to the issue that the existing coal-fired thermal power plants (CHP) do not meet modern environmental requirements and are not efficient enough. This paper presents the main aspects of the development of world energy in the era of energy transition. Trends in the development of world energy in the era of energy transition - the Fourth energy transition. We are talking about the use of a fresh source of energy instead of coal - hydrogen, and, in accordance with this, the modernization and reconstruction of thermal power plants for this type of fuel. The selected and reasoned design conclusion is aimed at innovative formation and the conclusion of a large number of tasks.

**Keywords:** energy development plan, thermal power plant, hydrogen fuel, renewable energy sources, modernization.

Анализ развития мирового энергетического сектора показывает, что доминирующая роль ископаемого топлива в производстве электроэнергии сохранится в 21 веке, несмотря на значительные финансовые вложения в возобновляемые источники энергии [1-3].

В реальное время есть всевозможные инноваторские технические заключения для модернизации имеющих место быть угольных теплоэлектростанций для увеличения их финансовой производительности при одновременном понижении выбросов загрязняющих веществ. Накопленный мировой опыт проведенной модернизации ТЭС демонстрирует, собственно, что есть 2 расклада к заключению данной трудности.

Первый вариант подразумевает переоборудование устаревших заводов с установкой на них устройств, обеспечивающих понижение вредоносных выбросов и ублажение экологических общепризнанных мерок [4-6].

Второй вариант преследует задача немаловажного совершенствования технико-экономических и экологических характеристик станции и подразумевает коренную реконструкцию станции с заменой значимой части давнего оснащения на больше безупречные и действенные технологии, среди которых связаны самые гигантские возможности [7, 8].

Многообещающим направлением считается многостадийное сжигание высокосернистого зольного горючего на электрических станциях, которое реализуется в форме внутрицикловой газификации с внедрением газовых турбин с комбинированным циклом, собственно что разрешает увеличить коэффициент применения вероятной энергии горючего и генерировать электричество без вредоносных выбросов в атмосферу находящейся вокруг среды. Это подразумевает рациональное подключение газификации и чистки генерируемого газа в энергетический цикл.

На базе проделанного анализа можно сделать вывод о том, что технология комбинированного парогазового цикла с газификацией считается многообещающим направлением использования топлива НЭТ.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный

технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA. A

2. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р., Добронравов А.Д., Шамсутдинов Э.В. Комплексное использование золошлаковых отходов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 26-36. EDN UYCPJT.

3. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Титов А.В., Гафуров Н.М. Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок // Энергетика Татарстана. 2015. № 3(39). С. 20-25. EDN UJZEYR.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

5. Ишалин А.В., Файзуллина Г.И., Марьин Г.Е. Перспективные направления получения водорода // Тинчуринские чтения - 2021 "Энергетика и цифровая трансформация": Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. Казань: Общество с ограниченной ответственностью Полиграфическая компания "Астор и Я". 2021. С. 182-185. EDN VNSJQF.

6. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-2-84-92. EDN SJMVUR.

7. Марьин Г.Е., Сопина Ю.В. Перспективы применения водорода в энергетике // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 20 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 4160-4163. EDN DFRRQF.

8. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ГАЗОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Е.А. Будрина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lizaalex0033@mail.ru

Альтернативные источники энергии – это уже давно не миф. С точки зрения экологии альтернативная энергия чище по сравнению с традиционными источниками энергии- нефти, угля, газа и ядерного топлива. В данной статье рассматриваются некоторые альтернативные газы, которые можно использовать в качестве источников электроэнергии, их недостатки и преимущества перед традиционными источниками.

**Ключевые слова:** производство электроэнергии, альтернативные газы, электрическая энергия, природный газ.

## THE USE OF ALTERNATIVE TYPES OF GASES FOR ELECTRICITY GENERATION

E.A. Budrina

KSPEU, Kazan, Russia

lizaalex0033@mail.ru

Alternative energy sources are no longer a myth. From the point of view of ecology, alternative energy is cleaner compared to traditional energy sources - oil, coal, gas and nuclear fuel. This article discusses some alternative gases that can be used as sources of electricity, their disadvantages and advantages over traditional sources.

**Keywords:** electricity generation, alternative gases, electric energy, natural gas.

В последние годы в качестве потенциальных источников выработки электроэнергии используются альтернативные газы [1-3]. Жизнеспособными источниками экологически чистой энергии являются такие газы, как природный газ, биогаз и водород. С каждым годом они привлекают все больше внимания ученых, ведь их использование напрямую может снизить нашу зависимость от традиционных источников энергии.

Электроэнергия с использованием природного газа генерируется на электростанциях открытого типа путем сжигания в газовых турбинах и электростанциях с комбинированным циклом [4-6]. В обоих случаях природный газ смешивается с паром для повышения эффективности и сокращения выбросов. Большим преимуществом является и то, что газовые электростанции имеют чрезвычайно быстрое время запуска по сравнению с угольными и ядерными станциями.

Еще одним альтернативным газом, используемым для производства электроэнергии, является биогаз. Он так же, как и природный, считается чистым источником энергии, так как при сгорании не производит никаких остаточных веществ. Биогаз образуется при разложении органического материала в процессе метанового брожения. Состоит он в основном из метана и двуокиси углерода и, в отличие от природного газа, считается возобновляемым источником. Биогаз можно использовать для производства электроэнергии путем сжигания в газовых турбинах или с помощью топливных элементов.

Водород — это чистейший возобновляемый источник, который применяется с целью выработки электрической энергии [1-3]. Это универсальный энергоресурс, поскольку при использовании водорода не образуются парниковые газы и, кроме того, не нарушается круговорот воды в природе. Выработка данного газа основана на электролизе воды, в процессе которого молекулы воды расщепляются на водород и кислород. Для производства энергии водород целесообразно сжигать в турбинах или парогенераторах, двигателях внутреннего сгорания, но лучше электрохимически окислять в электрических генераторах-топливных элементах. Последнему подходу отдается предпочтение вследствие более высокой эффективности, компактности и удобства в работе электрохимических установок.

На основании приведенного материала можно сделать вывод, что природный газ, биогаз и водород пригодны для применения с целью выработки электроэнергии. Конечно, каждый газ имеет собственные преимущества и недостатки. Природный газ является высокоэффективным источником энергии, но при его сжигании образуются выбросы, которые в больших количествах вызывают парниковый эффект, способный кардинально изменить климат на планете. Биогаз является возобновляемым источником энергии и производит меньше выбросов по сравнению с природным газом, но его использование более затратно. Водород — это чистый возобновляемый источник энергии, но его хранение оказывается дороже выработанной энергии.

Выбросы вредных компонентов, возникающие в результате химических процессов горения топлива, вызывают парниковый эффект, озоновые дыры, кислотные дожди, которые в значительной степени снижают качество нашей жизни, отрицательно влияют на здоровье. Именно поэтому использование альтернативных газов для выработки электрической энергии имеет огромный смысл для нашего будущего. Ведь это чистые источники энергии, которые в отличие от традиционных источников не имеют «твёрдых отходов». Использование альтернативных газов для выработки электроэнергии — один из способов, которым мы можем двигаться к более устойчивому будущему.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-2-84-92. EDN SJMVUR.

4. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.

5. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.

6. Mingaleeva G. R. On the mechanism of a helical motion of fluids in regions of sharp path bending // Technical Physics Letters. 2002. Vol. 28. No. 8. P. 657-659. DOI 10.1134/1.1505541. – EDN LHGBUT.

## ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Р.А. Газизова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ms.gazizova.04@mail.ru

С момента своего открытия и до настоящего времени крупномасштабное производство электроэнергии произвело значительную революцию в том, как мы живем, работаем и играем. Производство значительных объемов электроэнергии невозможно без изобретения электростанций. Несмотря на их жизненно важную роль в производстве электроэнергии, электростанции, как и большинство промышленных объектов, выделяют отходящие газы и другие загрязнители окружающей среды. Это часто создает риски для здоровья работников на объекте и жителей в пределах досягаемости электростанции. К счастью, для операторов доступны различные технологии контроля выбросов электростанций, которые будут рассмотрены далее в этой статье.

**Ключевые слова:** электроэнергия, электростанции, газы, загрязнение, выбросы, технология.

## TECHNOLOGY FOR CONTROL OF EMISSIONS AND POLLUTION IN POWER PLANTS

R.A. Gazizova

KSPEU, Kazan, Russia

ms.gazizova.04@mail.ru

From its discovery to the present day, large scale power generation has revolutionized the way we live, work and play. The production of significant amounts of electricity is impossible without the invention of power plants. Despite their vital role in power generation, power plants, like most industrial facilities, emit off-gases and other environmental pollutants. This often creates health risks for site workers and residents within reach of the power plant. Fortunately, a variety of power plant emissions control technologies are available to operators, which will be discussed later in this article.

**Keywords:** electricity, power plants, gases, pollution, emissions, technology.

Основные вещества, вызывающие загрязнение воздуха электростанций, можно разделить на соединения металлов ртути, металлы, не содержащие ртути, токсичные газы и твердые частицы, загрязняющие воздух [1-3].

Основными видами загрязнения воздуха из-за тепловых электростанций являются: Ртуть, кислые газы, диоксид серы (SO<sub>2</sub>), мышьяк, никель, хром, оксиды азота (NO<sub>x</sub>), сажа [4-6]. Эти химические соединения представляют значительный долгосрочный риск для здоровья людей, подвергшихся воздействию.

Для соблюдения экологических норм на электростанциях у операторов есть широкий спектр технологий, помогающих в борьбе с загрязнением на электростанциях [7, 8]. Эти методы позволят устранить как газообразные, так и твердые загрязняющие вещества, образующиеся во время работы станции.

Технологией, эффективной для удаления сажи, ртути и кислых газов, является электрофильтр [1-6]. Это устройство работает по принципу индуцированных электронных зарядов для отделения твердых частиц от газового потока энергоэффективным способом.

Селективное каталитическое восстановление - эта технология в основном используется для контроля уровня ртути, производимой электростанциями. Она выполняется в специализированных камерах, где происходит окисление ртути, что ограничивает ее выбросы в окружающую среду.

Десульфурация дымовых газов. Эта технология используется для снижения выбросов диоксида серы на установках, работающих на ископаемом топливе. Хотя существуют различные методы достижения десульфурации газов, наиболее популярные методы используют двухступенчатый процесс удаления летучей золы.

Впрыск активированного угля. Использование этой технологии, возможно, является наиболее эффективным и экономичным способом минимизации выбросов ртути, диоксинов и фуранов от электростанций. Активированный уголь в его порошкообразной форме обеспечивает большую площадь поверхности, что позволяет увеличить поглощение загрязняющих веществ с последующим сокращением выбросов до 90%.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на



оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-2-84-92. EDN SJMVUR.

4. Mingaleeva G. R. On the mechanism of a helical motion of fluids in regions of sharp path bending // Technical Physics Letters. 2002. Vol. 28. No. 8. P. 657-659. DOI 10.1134/1.1505541. – EDN LHGBUT.

5. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.

6. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.

7. Соловьев И.С., Валиев Р.И., Нугманов Д.Ф. и др. Применение мобильных мини-ТЭЦ с ГТУ как важный фактор освоения труднодоступных территорий России // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 172-175. EDN ERBLBC.

8. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

## КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ

Р.Д. Галиуллин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Rustiks1906@yandex.ru

В данной работе исследуются перспективы комбинированного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также проанализирована её эффективность.

**Ключевые слова:** энергоснабжение, комбинированная выработка, энергосистема, возобновляемые источники энергии.

## COMBINED POWER GENERATION SYSTEM

R.D. Galiullin

KSPEU, Kazan, Russia

Rustiks1906@yandex.ru

This article explores the prospects for the combined use of renewable energy sources (RES) and analyzes its effectiveness.

**Keywords:** energy supply, combined generation, energy system, renewable energy sources

Когенерация, также известная как комбинированная генерация, представляет собой инновационный подход к производству энергии. Она позволяет одновременно и эффективно производить несколько видов энергии и энергетических продуктов в рамках единого технологического процесса.

В мире все чаще используют комбинированные системы электроснабжения, основанные на возобновляемых и традиционных источниках энергии. В Российской Федерации, учитывая географические и климатические особенности, совместная выработка электрической и тепловой энергии является ключевым направлением для повышения энергоэффективности и сокращения выбросов парниковых газов.

Традиционная тепловая энергетика является основным источником энергоснабжения потребителей, однако, она приносит значительный вред окружающей среде через выбросы в атмосферу и гидросферу [1-3].

В настоящее время эффективным подходом является использование нескольких видов возобновляемых источников энергии для энергоснабжения, что позволяет сократить топливные затраты и повысить надежность системы электроснабжения.

При разработке схем теплоснабжения городов, необходимо обеспечить заданный уровень надежности при минимальной себестоимости для потребителя.

На данный момент конструирование ветряных электростанций и солнечных электростанций требует самых малых инвестиций, несмотря на то, что необходимые мощности их являются достаточно высокими, чем для всех остальных электростанций. Во всем мире стремятся получать наиболее дешевую энергию и увеличивать энергетическую безопасность, поэтому страны активно развивают возобновляемые источники энергии.

При разработке и проектировании схем теплоснабжения городов, главная задача заключается в обеспечении высокой надежности системы при минимальной себестоимости для потребителей. Различные страны всеми силами стремятся ускорить свой экономический рост, используя для этого наиболее доступные и дешевые источники энергии и увеличивая свою энергетическую безопасность.

В настоящее время, среди различных способов производства энергии, конструирование ветряных и солнечных электростанций остаётся наиболее эффективным. В отличие от других источников энергии, их строительство требует минимальных инвестиций, при этом необходимые мощности достаточно высоки. Более того, себестоимость производства электроэнергии на ВЭС и СЭС остается низкой в сравнении с другими энергетическими источниками [4].

Основные, наиболее надежные виды ВИЭ относятся к нестационарным (энергия течений и волн, солнечная и ветровая энергия), которые не обеспечивают устойчивое энергоснабжение во времени. Проектирование систем энергоснабжения на базе ВИЭ технически возможно с дополнительным использованием энергии биомассы, но требует грамотного применения разных конфигураций ВИЭ в зависимости от рассматриваемых регионов.

Многие энергетические компании пришли к выводу, что в настоящее время экономически выгоднее использовать технологии на базе возобновляемых источников энергии. Однако основные и наиболее надежные виды возобновляемых источников энергии относятся к нестационарным, таким как энергия течений и волн, солнечная и ветровая энергия, которые не обеспечивают постоянное и стабильное энергоснабжение в течение времени. Для обеспечения устойчивого энергоснабжения на базе возобновляемых источников энергии необходимо

проектировать системы с учетом использования дополнительных источников энергии, таких как биомасса, и применять различные конфигурации возобновляемых источников энергии в зависимости от региональных условий [5].

### **Источники**

1. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVB.

2. Обухов, С.Г. Применение накопителей энергии для повышения энергоэффективности ветродизельных электростанций / Лукутин Б.В., Шутов Е.А., Хошнау З.П. – Электричество. – 2012 – №. 6 – С. 24-28.

3. Мясоедов, Ю. В. Распределенная генерация. Перспективы и особенности / Ю. В. Мясоедов, А. В. Федотов, Г. Е. Музыченко // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции, Благовещенск, 11–12 марта 2019 года. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2019. – С. 131-136.

4. Зингер, Н. М. Развитие теплофикации в России / Н. М. Зингер, А. И. Белевич // Электрические станции. – 1999. – № 10. – С. 2–3.

5. Морева, Ю. А. Развитие распределённой генерации в мире и в России / Ю. А. Морева, М. М. Суровцов, Е. А. Панова // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2020. – №. 5. – С. 42-53

УДК 620.92

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДНЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ В РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Р.М. Галяутдинов

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ryslik\_0101@mail.ru

Водород является самым распространенным и экологически чистым элементом в мире, при использовании которого, не возникают оксиды и диоксиды нежелательных веществ, которые в свою очередь ограничивают оборудование для выработки энергии. В данной статье рассмотрены различные схемы получения электроэнергии с использованием водородных парогенераторов.

**Ключевые слова:** водород, кислород, водородный парогенератор, маневренность, нагрузка.

## USE OF HYDROGEN STEAM GENERATORS IN VARIOUS ELECTRICITY GENERATION SCHEMES

R.M. Galyautdinov  
KSPEU, Kazan, Russia  
ryslik\_0101@mail.ru

Hydrogen is the most abundant and environmentally friendly element in the world, which does not produce oxides and dioxides of undesirable substances, which in turn limit equipment for generating energy. This article discusses various schemes for generating electricity using hydrogen steam generators.

**Keywords:** hydrogen, oxygen, hydrogen steam generator, maneuverability, load.

Тенденцией развития мировой энергетики, а также энергетики России является стремление к снижению выбросов CO<sub>2</sub> в окружающую среду, повышению эффективности энергоустановок, увеличению коэффициента маневренности. Предлагаются различные пути достижения поставленных целей, одним из них является применение водорода в качестве топлива для энергетических установок. В современном мире водород рассматривается как наиболее чистый промежуточный энергоноситель для перспективной энергетики, так как это самый распространенный элемент в мире, в результате сжигания которого не образуются токсичные компоненты [4]. Известны различные способы использования водорода в энергетике [1-3].

В данной работе рассмотрены водородные парогенераторы (ВПК), применение которых позволяет производить пар с высокими показателями давления и температуры, благодаря сжиганию водорода в кислороде.

Одним из важных недостатков использования водорода в энергетике является проблема его аккумуляции для дальнейшего использования, которая может быть частично решена за счет использования ВПК. Экспериментальные ВПК созданы на базе авиационных двигателей, что значительно снижает их рабочий ресурс (около 10 000 часов), что так же является недостатком ВПК. Но есть и ряд преимуществ. Целью данного исследования является анализ схем, в которых могут использоваться водородные парогенераторы, и выявление областей их предпочтительного использования. Водородный парогенератор представляет из себя устройство для получения пара посредством сжигания водорода в кислороде. В схемах ПГУ ВПК выполняет функцию парового котла или

котла-утилизатора. Конструкция водородно-кислородного парогенератора представлена на рисунке [1].

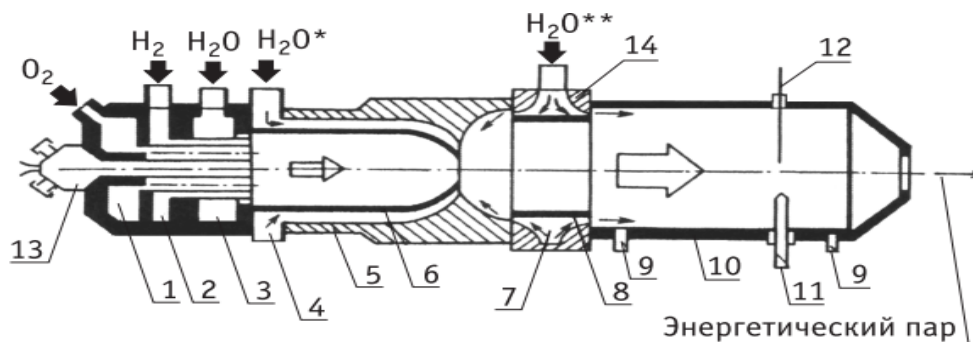


Схема водородно-кислородного парогенератора: 1 – камера подачи кислорода; 2 – камера подачи водорода; 3, 4 – камеры подачи холодной воды для охлаждения пламенной трубы с внутренней и внешней поверхностей; 5 – корпус камеры сгорания; 6 – пламенная труба камеры сгорания; 7 – камера балластной воды; 8 – цилиндрический экран; 9 – датчики давления; 10 – корпус камеры смешения; 11 – газоанализатор; 12 – датчик температуры; 13 – запальное устройство; 14 – корпус узла впрыскивания балластной воды

Преимуществом данного устройства является минимальное время запуска. Пар, полученный в ВПК, имеет высокие параметры, которые регулируются подачей охлаждающей воды. ВПК является более компактным устройством в плане металлоемкости, а также характеризуется полным отсутствием образования оксидов азота, диоксида углерода, оксидов серы и других вредных веществ, требующих огромных материальных затрат для их подавления и часто ограничивающих технические возможности котлов. Рассмотрим основные технологические схемы, в которых могут использоваться ВПК.

1. Применение водородно-кислородного парогенератора, присоединенного параллельно котлу-утилизатору (КУ) на вход паровой турбины (ПТ), с его включением в работу при необходимости существенного и быстрого набора нагрузки энергоблока, что позволит значительно повысить скорость изменения мощности ПГУ.

2. Аккумулированный водород и кислород с помощью дожимных компрессоров направляются в ВПК, далее полученный пар поступает в цилиндр высокого давления (ЦВД) ПТ. Между ЦВД и цилиндром низкого давления (ЦНД) ПТ находится еще один ВПК, куда идет отбор пара из ЦВД, после ПТ устанавливается конденсатор, питательный насос, а также конденсатное хранилище, откуда насосом конденсат направляется обратно

в ВПК – это требуется для регулирования параметров давления и температуры на входе в ПТ [2].

3. Включение ВПК возможно и в схему работы АЭС. Это целесообразно, так как АЭС относятся к относительно экологически чистым источникам электроэнергии [1].

Таким образом, использование водорода в современных реалиях энергетики целесообразно для улучшения маневренности имеющихся энергетических установок ТЭС и АЭС, для покрытия пиковых часов нагрузок. Отмечая широкие возможности применения ВПК в схемах производства энергии, необходимо выделить, что поскольку водород является вторичным энергоносителем, то есть дорогим топливом, рабочий цикл энергоустановок следует организовать так, чтобы использовать его энергию максимально эффективно. Это означает, что термодинамическая температура подвода тепла к рабочему телу за счет сжигания водорода должна быть максимально высокой.

### **Источники**

1. Малышенко С.П. Водородные парогенераторы для перспективной энергетики // Энергия: экономика, техника, экология. 2010. №2. С. 2-7.

2. Шапиро В.И., Малышенко С.П., Реутов Б.Ф. Повышение маневренности ПГУ при использовании водородно-кислородных парогенераторов // Теплоэнергетика. 2011. №9. С. 35-40.

3. Клименко А.В., Агабабов В.С., Борисова П.Н. Совместная генерация произведенных энергоносителей (обзор) // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25., №2. С. 6-29.

4. Счастливец А.И., Молотов И.М., Борзенко В.И. Исследование тепловых процессов в водородно-кислородных парогенераторах киловаттного класса мощности // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23., №2. С. 116-127.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК МАЛЫХ МОЩНОСТЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Б.Р. Гареев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

com

В данной статье рассмотрены возможности использования маломощных газотурбинных установок для электроснабжения агропромышленных предприятий. В исследовании рассматриваются существующие в настоящее время технологии для газотурбинных установок и оцениваются преимущества и проблемы, связанные с такими установками.

**Ключевые слова:** газотурбинные установки, агропромышленные предприятия, энергия.

## USE OF LOW-CAPACITY GAS TURBINE PLANT FOR POWER SUPPLY OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX ENTERPRISES

B.R. Gareev

KSPEU, Kazan, Russia

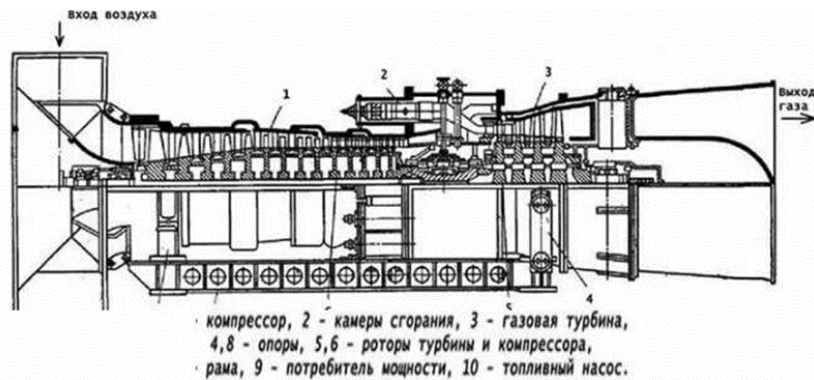
bgareev85@gmail.com

This article discusses the possibilities of using low-power gas turbine plants for power supply of agro-industrial enterprises. The study reviews current technologies for gas turbine plants and evaluates the benefits and challenges associated with such plants.

**Keywords:** gas turbine plants, agro-industrial enterprises, energy.

Агропромышленные предприятия, такие как фермы и заводы по переработке сельскохозяйственной продукции, обычно требуют много энергии для своей работы. Однако из-за удаленности многих из этих предприятий доступ к традиционной энергосистеме часто ограничен или отсутствует. В этих случаях использование маломощных газотурбинных установок является идеальным решением для обеспечения энергией, необходимой для питания этих предприятий (см. рис.).





Газотурбинные установки малой мощности

Газотурбинные установки малой мощности представляют собой машины, работающие на газе или на смеси топлив [1-3], которые используют двигатель внутреннего сгорания для выработки электроэнергии.

Специально разработаны для удаленного автономного производства энергии [4-6]. Они меньше традиционных электростанций, поэтому их можно устанавливать в местах с ограниченным пространством, и они могут работать на природном газе, пропане или другом топливе.

Эксплуатация газотурбинной установки относительно проста, и ее можно быстро настроить. Это делает их идеальными для срочных нужд агропромышленных предприятий. Установки также просты в обслуживании, поэтому их можно поддерживать с максимальной эффективностью с минимальными усилиями.

Газотурбинные установки малой мощности могут использоваться для обеспечения работы агропромышленных комплексов и производства электроэнергии для энергетических нужд таких комплексов. Таким образом, электростанции могут обеспечить надежное и недорогое энергоснабжение. Для достижения максимальной эффективности газовые турбины работают при минимально возможном давлении и расходе, что делает их высокоэффективными и снижает их воздействие на окружающую среду.

Использование маломощных газотурбинных установок имеет ряд преимуществ для агропромышленных предприятий. Во-первых, они намного эффективнее и имеют меньшие эксплуатационные расходы, чем традиционные электростанции. Это означает, что агропромышленные предприятия могут сэкономить деньги на счетах за электроэнергию и уменьшить свой углеродный след. Во-вторых, газотурбинные установки намного проще в установке и обслуживании, чем традиционные

электростанции. Это делает их идеальными для агропромышленных предприятий, где пространство и ресурсы ограничены.

Помимо экономических и экологических преимуществ маломощных газотурбинных установок, они также способны быстро и надежно вырабатывать электроэнергию. Это делает их идеальными для агропромышленных предприятий, потребности в энергии которых часто колеблются. Кроме того, использование газотурбинных установок может обеспечить чистый источник энергии, свободный от загрязняющих веществ.

В целом маломощные газотурбинные установки являются идеальным источником энергии для агропромышленных предприятий. Они дешевле, эффективнее и проще в обслуживании, чем традиционные электростанции. Кроме того, они обеспечивают надежный источник электроэнергии и чистый источник энергии, не содержащий загрязняющих веществ. Поэтому агропромышленным предприятиям следует серьезно подумать об использовании маломощных газотурбинных установок для своих энергетических нужд.

#### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

3. Nuriev M.G., Gizatullin R.M., Gizatullin Z.M. Physical Modeling of Electromagnetic Interferences in the Electronic Devices at Direct Impact of Lightning on Protection System of Building // Actual problems of electronic

4. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Титов А.В., Гафуров Н.М. Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок // Энергетика Татарстана. 2015. № 3(39). С. 20-25. EDN UJZEYR.

5. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических

моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

6. Mingaleeva G.R. On the mechanism of a helical motion of fluids in DOI 10.1134/1.1505541. – EDN LHGBUT.

УДК 621.311

## **РАБОТА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В СИСТЕМЕ**

А.Р. Гиниятов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Azamat28112003@gmail.com

Статья «Работа распределенной генерации в системе» рассматривает перспективную технологию распределенной генерации, которая позволяет производить энергию близко к потребителю, сокращая затраты на транспортировку и снижая потери энергии. Статья описывает основные источники РГ, регулирование и управление, а также ключевые стандарты, такие как IEEE 1547 и IEC 61850, которые определяют требования к подключению и управлению РГ в системе энергоснабжения. Статья также отмечает, что распределенная генерация становится все более популярной во всем мире и играет важную роль в сокращении воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** распределенная генерация, потребитель, энергию, источники РГ, стандарты, энергоснабжение.

## **DISTRIBUTED GENERATION OPERATION IN THE SYSTEM**

A.R. Giniyatov

KSPEU, Kazan, Russia

Azamat28112003@gmail.com

The article «Distributed generation operation in the system» examines a promising distributed generation technology that allows energy to be produced close to the consumer, reducing transportation costs and reducing energy losses. The article describes the main sources of RG, regulation and management, as well as key standards, such as IEEE 1547 and IEC 61850, which define the requirements for connecting and managing RG in the power supply system. The article also notes that distributed generation is becoming increasingly popular around the world and plays an important role in reducing environmental impact.

**Keywords:** distributed generation, consumer, energy, energy sources, standards, energy supply.

Распределенная генерация (РГ) является одним из наиболее перспективных направлений развития энергетической системы [1-4]. Это технология, которая позволяет производить энергию в непосредственной близости к потребителю, снижая транспортные затраты и потери энергии.

Основными источниками распределенной генерации являются источники небольшой мощности, то есть такие как гибридные энергосистемы, малые ветроэнергетические системы и микротурбины. Данные источники энергии могут работать как автономно, так и в сочетании с традиционными источниками энергии, такими как уголь, газ и нефть [5-7].

Работа распределенной генерации в системе зависит от многих факторов, включая погодные условия, технические характеристики генераторов и потребителей, а также регулирование и управление. Одним из ключевых стандартов, регулирующих работу распределенной генерации, является IEEE 1547. Этот стандарт определяет требования к подключению РГ к сети, включая защиту и управление. Согласно стандарту, РГ должна иметь возможность автоматически отключаться от сети в случае отказа в работе главного источника энергии. Другой стандарт, IEC 61850, определяет протоколы связи и управления для систем распределенной генерации. Он обеспечивает универсальную связь между различными типами генераторов и системами управления энергоснабжением, обеспечивая более эффективное управление и контроль. Кроме того, ряд стран имеет свои собственные регулирующие стандарты для распределенной генерации. Например, в США стандарты IEEE 1547 и UL 1741 определяют требования к безопасности, качеству и надежности оборудования распределенной генерации, которое подключается к сети электропитания.

Если рассмотреть работу РГ в нашей стране, то мы можем увидеть, как малая распределенная генерация в российской электроэнергетике уже играет огромную роль. Согласно существующим анализам, в нее входит от 5 вплоть до 10% всего производства электричества в стране. В большинстве регионов нашей страны использование централизованной энергетики нереально – более 2/3 местности Российской федерации находится далеко от сетей и в этих регионах можно будет применять источники распределенной генерации тогда период окупаемости подобных проектов зачастую будет составлять всего два-три года, а доход будет достигать вплоть до 5-6 рублей за 1 кВт\*час.

Таким образом, принимая во внимание все достоинства и минусы, использование РГ имеет отличное будущее как для удаленных от

основных сетей районов, так и для сельской территории и она становится все более известной во всем мировом сообществе. Также появление энергоэффективных, коммерчески доступных и экологически чистых возобновляемых источников энергии способствует распространению РГ. Выходит то, что только комплексное решение технических трудностей интеграции объектов РГ в систему позволит содействовать последующему всемирному внедрению объектов распределенной генерации.

### **Источники**

1. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Инструментальная среда исследования газотурбинных установок // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 1. С. 22-25. EDN KPSXOT.

2. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Титов А.В., Гафуров Н.М. Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок // Энергетика Татарстана. 2015. № 3(39). С. 20-25. EDN UJZEYR.

3. Соловьев И.С., Валиев Р.И., Нугманов Д.Ф. и др. Применение мобильных мини-ТЭЦ с ГТУ как важный фактор освоения труднодоступных территорий России // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 172-175. EDN ERBLBC.

4. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

5. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

6. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.

7. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOBB.

УДК 631.3:662

## **ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА**

М.Д. Гордеев

Науч. рук., канд. науч. рук., доцент И.Н. Маслов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
maksim-gordeev-2003@mail.ru

В статье рассмотрены различные применения альтернативных видов топлива в энергетике. Приведены характеристики видов топлива и их эффективность на энергетических объектах. Представлена статистика использования альтернативных видов топлива в мире на 2022 год.

**Ключевые слова:** альтернативные виды топлива, эффективность видов топлива, электрические станции на которых применяются альтернативные виды топлива.

## **APPLICATION OF ALTERNATIVE FUELS IN THE ENERGY INDUSTRY**

M.D. Gordeev

KSPEU, Kazan, Russia  
maksim-gordeev-2003@mail.ru

The article discusses various applications of alternative fuels in the energy sector. The characteristics of fuel types and their efficiency at power facilities are given. The statistics of the use of alternative fuels in the world for 2022 is presented.

**Keywords:** alternative fuels, efficiency of fuels, power plants that use alternative fuels.

Растущие потребности мировой экономики и энергетики обуславливают необходимость развития альтернативного топлива [1,2]. В связи с условиями нарастающего дефицита энергоносителей и увеличения стоимости всех видов энергии актуальными во всём мире становятся

тенденции по сбережению энергоресурсов, внедрению новых технологий для изготовления топлива[1-3].

Биомасса является более перспективным топливом, ведь биомасса представляет собой растительный и животный мир и продукты их технической и физиологической переработки, в том числе органические отходы. Биоресурсы-мировой источник топлива и сырья для химической промышленности.

В энергетике в основном используется биогаз - газ, получаемый метановым брожением биомассы. В состав биогаза входят 50-87% метана, 13-50% углекислого газа и незначительные примеси водорода и сероводорода. Биогаз получаем из любых органических отходов. Кроме отходов биогаз можно производить из специальных энергетических культур. Строятся специальные электростанции в основе топлива которых служит биогаз. После очистки биогаза получается биометан, используемый как топливо для автомобилей.

Водород-химический элемент периодической системы, бесцветный не имеющий запаха и вкуса. Водород получают с помощью нескольких способов: электролиз воды, газификация и пиролиз. Применяется не только на электростанциях на водородном топливе, но и на аэс, гидроэлектростанциях, ветровых станциях и фотоэлементных станциях [4-6]. Принцип выработки электроэнергии основан на том, что на станции водород направляют в специальный электрохимический генератор, который преобразует водород в электроэнергию[7-8]. На определенных предприятиях промышленности уже применяется водород, за счёт которого, увеличивается мощность энергоустановок.

Также в энергетике применяется биоэтанол. Это так называемый спирт, который получают из растительного сырья. Растительным сырьём в разных странах являются различные зерновые культуры. Однако биоэтанол мало распространён в большой энергетике, основная сфера его применения - замена бензина для транспортных средств.

Древесину тоже можно рассмотреть, как определённый вид топлива. Но следует уточнить, что используют для этого специальную древесину, которая при горении выделяет биополимеры, которые превращают в ценные для энергетики продукты-мономеры, биополимерное топливо и низкомолекулярные вещества.

На 2022 год доля мирового рынка биоэнергетики достиг 144,4 ГВт. По прогнозам к 2028 году рынок достигнет отметки в 228,1 ГВт.

В заключении можно отметить, что развитие биоэнергетики выгодно, как и в экономическом, так и в экологическом плане и

существенно снизит применение в мире традиционных видов энергии. При этом исследователи и специалисты продолжают выявлять множество положительных особенностей этих видов топлива и находить много новых технических решений.

### **Источники**

1. Стребков Д. С., Ковалев А. А. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства. // Техника и оборудование для села, 2006. №11. С. 28–30.

2. Жилкина Ю.В. Процессы реформирования электроэнергетики в России // Энергетик. 2020. № 1. С. 29-32. EDN UCPRRI.

3. Жилкина Ю.В. Пути повышения экономической безопасности Российской Федерации // Финансовый бизнес. 2010. № 4(147). С. 17-22. EDN RXXOHF.

4. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

6. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVV.

7. Марьин Г.Е., Сопина Ю.В. Перспективы применения водорода в энергетике // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 20 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 4160-4163. EDN DFRRQF.

8. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.



## **ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ НА УГЛЕ НАД ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ, РАБОТАЮЩИМИ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ**

Е.А. Дворнова

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dvornova.liza@mail.ru

В работе представлены преимущества электрических станций, работающих на угле над электрическими станциями, работающими на природном газе. Сравнивались запасы этих ресурсов и их экономическая составляющая.

**Ключевые слова:** электростанции, уголь, газ.

## **ADVANTAGES OF COAL-FIRED POWER PLANTS OVER NATURAL GAS-FIRED POWER PLANTS**

E.A. Dvornova

KSPEU, Kazan, Russia

dvornova.liza@mail.ru

The paper presents the advantages of coal-fired power plants over natural gas-fired power plants. The reserves of these resources and their economic component were compared.

**Keywords:** power plants, coal, gas.

В настоящее время наблюдается переход от примитивного угольного топлива на более современные газообразные виды. За последние 10–20 лет технологии использования угля и газа многократно усовершенствовались. Начнем сравнение угольной и газовой генерации с того что природные ресурсы имеют свойство истощаться. Так, например, в соответствии со статистическими данными компании British Petroleum, поддерживая нынешние темпы потребления газа и угля и отсутствие открытия новых месторождений, известные нам запасы угля будут исчерпаны через 150 лет, а природного газа – через примерно 60 лет. Следует отметить, что темпы дальнейшего развития новых месторождений угля и газа будут неумолимо снижаться – новые запасы ископаемого топлива труднее найти, они будут значительно меньше по объемам, чем те, которые были найдены

в прошлом, и стоит отметить, что их труднее и дороже извлечь так как большинство из них возможно находятся на севере, где сложна логистика, разработка месторождения, поддержание рабочего состояния оборудования и работоспособности персонала [1-3].

Поэтому, считая, что уже следующие поколения столкнутся с нехваткой ресурсов как нефть и газ или будут вынуждены разрабатывать дорогостоящие месторождения, уголь вытеснит газ и останется основным видом органического топлива, который будет использоваться для разных целей, включая производство электроэнергии. Вторым сравнительным фактором будет рассматриваться экономический фактор. Одну тонну угля предприятие сегодня может приобрести за 2 тыс. руб. То есть, один килограмм обходится в 2 рубля. Тепловая машина с КПД=1%, при мощности 1 кВт, на час работы расходует примерно 3,7 кг угля. Коэффициент полезного действия ТЭС составляет 21-39%. Чем масштабнее электростанция, чем современнее оборудование и меньше степень его износа, тем выше КПД. Значит, с учетом КПД (примем для расчетов КПД=30% ) в течение часа ТЭС сжигает на 1 кВт\*час:  $3.7/30 = 0,123$  кг угля. Цена данного угля:  $0,123*2=24.6$  копеек. Итого, покупка угля для выработки 1 кВт\*час электроэнергии на современной тепловой электростанции обходится в 24.6 копеек. Транспортировка газа на ТЭС гораздо легче из-за возможности транспортировки его посредством трубопроводов, а так же, КПД силовых машин на газу на несколько процентов выше. Но в то же время, природный газ стоит значительно дороже угля. В результате имеем, что в зависимости от региона и ситуации на рынке энергоносителей, себестоимость 1 кВт\*час электроэнергии произведенной на ТЭС с использованием в качестве топлива газа примерно выходит 30-35 копеек и больше. Третьим фактором можно считать газификацию угля [2-4].

Уголь является уникальным материалом, на основе которого может быть получен широкий спектр различных материалов и химикатов. Побочные продукты производства угольного газа могут быть: кокс, каменноугольная смола, сера и аммиак, все полезные продукты, красители, лекарства, в том числе сульфамидные, сахарин и т.д. Различные органические соединения получают из угольного газа. Например, после прохождения через угольный слой фронта термических превращений в специальном приборе, газификаторе, остается высокопористый твердый продукт с достаточно интересными физическими свойствами. В зависимости от сорта угля и выбранных параметров технологического процесса он может представлять собой активированный углерод, знакомый

каждому, или среднетемпературный кокс, который в дальнейшем используют в металлургии. Активированный углерод является универсальным веществом для адсорбции, то есть для отделения, очень широкого спектра загрязняющих веществ. Он используется для очистки самых разнообразных газовых выбросов, так же используется в фильтрах противогазов, водяных фильтрах, катализаторах автомобилей. А кокс является универсальным технологическим топливом для многочисленных металлургических технологий и эффективным углеродным восстановителем для электротермических производств, где требуется высокая реакционная способность и большое электрическое сопротивление, так же может использоваться в качестве сырья для науглероживания стали, то есть добавления в ее химический состав большего количества  $CO_2$  для большей прочности металла. Водород, который получили из угля газификацией, может использоваться для различных целей: изготовление аммиака, питание водородной энергетики или улучшение ископаемого топлива путем их смешивания в определенных пропорциях. В качестве альтернативы природному газу можем рассмотреть синтез-газ, полученный из угля. Он может быть сжижен и преобразован в топливо используемое для транспорта, такое как, например, бензин, дизель или метанол.

Исходя из выше указанных фактов, можно утверждать, что уголь в качестве топлива для электростанций является выгодным в сравнении с газом и имеет больше перспектив за счет своих запасов, стоимости, универсальности применения и возможности его переработки.

### **Источники**

1. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.

2. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGВH.

3. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

4. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы //

Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.

УДК 621.444

## **ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ УСТАНОВОК ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Д.С. Донецкий

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

myta.99@bk.ru

Обозначены перспективы развития децентрализованной системы электроснабжения с использованием в качестве источников энергии генераторов с газотурбинными двигателями.

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, децентрализованное электроснабжение, резервное электроснабжение.

## **PROBLEMS AND PROSPECTS OF CREATING DECENTRALIZED POWER SUPPLY INSTALLATIONS BASED ON GAS TURBINE ENGINES**

D.S. Donetskii

KSPEU, Kazan, Russia

myta.99@bk.ru

The prospects for the development of a decentralized power supply system using generators with gas turbine engines as energy sources are outlined.

**Keywords:** gas turbine engine, decentralized power supply, backup power supply.

В настоящее время производственный потенциал России состоит из более чем 700 электростанций, суммарная мощность которых составляет 215 миллионов кВт. Эксперты говорят, что около 37% электростанций уже отработали свой ресурс и требуется их замена. Износ подстанций составляет 45%, а износ линий электропередач – 25% [1]. Всё это приводит к тому, что возрастает вероятность аварии в системах централизованного электроснабжения.

Для выхода из данной ситуации можно предпринять частичный переход к децентрализованной системе электроснабжения. В большинстве развитых стран мира 10-25% электроэнергии производится на мощностях малой энергетики. В нашей же стране это число составляет всего 0,5% [1]. Данное направление развития заторможено из-за необходимости высокого финансового вложения и достаточно длинного срока окупаемости установки [3].

С каждым годом актуальность использования установок резервного электроснабжения в частном хозяйстве всё выше. Основные варианты таких энергоустановок:

- газопоршневые;
- газотурбинные;
- дизель-генераторные;

Газопоршневые установки выдают электрическую мощность от 88 до 1000 кВт. Они создаются на базе поршневого двигателя. Могут работать на природном газе, шахтном газе, попутных нефтяных газах, пиролизном и коксовом газе.

Газотурбинные установки существуют с мощностью от 30 кВт до 25 МВт. На данный момент широко распространены ГТУ с мощностью 2,5-25 МВт, которые служат для автономного электроснабжения различных месторождений [2].

Дизель-генераторная установка – это самый распространенный вариант. Их применяют как автономные и аварийные источники электроэнергии. Есть такие электростанции мощностью до 10 кВт. Но для выработки 1 кВт энергии требуется 0,37 л топлива. К тому же они не всегда отвечают условиям по шуму, вибрации, массе, выбросу вредных веществ и др. характеристикам.

Из-за того, что себестоимость природного газа мала можно уменьшить затраты на производство электроэнергии при использовании ГТУ. Однако электрический КПД газовой турбиной установки ниже, чем у газопоршневой. Однако, если использовать охлаждающие жидкости или систему утилизации тепла в обоих случаях можно выровнять КПД и приравнять его к 80-85%. К тому же при повышении мощности установок возрастает и КПД.

Особое место в электроснабжении частного хозяйства занимают микротурбинные установки мощностью 30-200 кВт. Они не только производят энергию высокого качества, но и могут работать на различных видах топлива. Одно из основных преимуществ таких установок – это высокая плотность мощности из учёта веса и занимаемой ими площади.

Преимущества газотурбинных установок:

- нагрузка не циклическая. Инерционные центробежные силы, которые возникают в газотурбинной установке, малы по сравнению с ними в газопоршневых установках. Так же у ГТУ надежность по прочности, продолжительные периоды между техническими обслуживаниями больше чем у газопоршневых установок, 2000 ч. и 1000ч. соответственно;

- минимальные вредные выбросы;

- малые слабочастотные вибрации;

- работа на частичных нагрузках менее 50% не оказывает влияние на состояние турбины;

- ГТУ можно объединять в кластеры.

Основные проблемы, которые возникают при использовании газотурбинных электростанций это:

- низкий электрический КПД;

- сложность в эксплуатации и ремонте;

- нужен подвод газа под высоким давлением;

- высокая чувствительность к пуску и останову турбины.

Не смотря на все эти проблемы, процент использования микротурбинных установок в России растет. Их применяют для электроснабжения торговых центров, административных зданий и складских помещений. Чаще всего используют микротурбины производства Kawasaki, General Electric, Capstone и т.д. [4].

Переход к использованию установок малой мощности и переход к децентрализованной схеме повысит надёжность и качество электроснабжения. Использование газовых установок является самым оптимальным вариантом, если учитывать цены на энергоносители и экологическую политику. Из всего вышперечисленного можно сделать вывод о том, что использование газотурбинных двигателей для развития малой энергетики на территории России перспективно и весьма актуально.

### **Источники**

1. Терехин А.Н., Слесаренко И.В., Горланов А.В. [и др.]. Перспективы развития автономных источников энергоснабжения на базе газопоршневых и газотурбинных двигателей // Двигателестроение. 2007. № 1 (227). С. 30–33.

2. Быстрицкий Г.Ф. Установки автономного и резервного электроснабжения // Промышленная энергетика. 2008. № 2. С. 13–23.

3. Мингалеева Г.Р. Перспективы применения гибридных электростанций малой мощности / Г.Р. Мингалеева, Д.Н. Фам //

СОВРЕМЕННАЯ РОССИЙСКАЯ НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ и ИННОВАЦИИ : сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 23 декабря 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2021. – С. 21-23.

4. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики / О.В. Афанасьева, А.А. Галькеева, А.Р. Вафин, Г.Р. Мингалеева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19, № 9-10. – С. 85-93. – EDN YPSXVG.

УДК 621-661

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА ДЛЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

Д.В. Ефимов

Науч. рук. канд. техн. наук, А.Р. Ахметшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

28efidimamov21russ@mail.ru

В данной работе изучены основные виды топлива, используемого для сжигания в камерах сгорания газотурбинных установок на различных видах станций. Разобраны основные эксплуатационные требования по составу и содержанию в них различных примесей. Рассмотрены альтернативные виды топлива, которые в перспективе могут быть использованы для ГТУ.

**Ключевые слова:** топливо, альтернативы, углерод, водород, камера сгорания.

## **ALTERNATIVE FUELS FOR GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBERS**

D.V. Efimov

KSPEU, Kazan, Russia

28efidimamov21russ@mail.ru

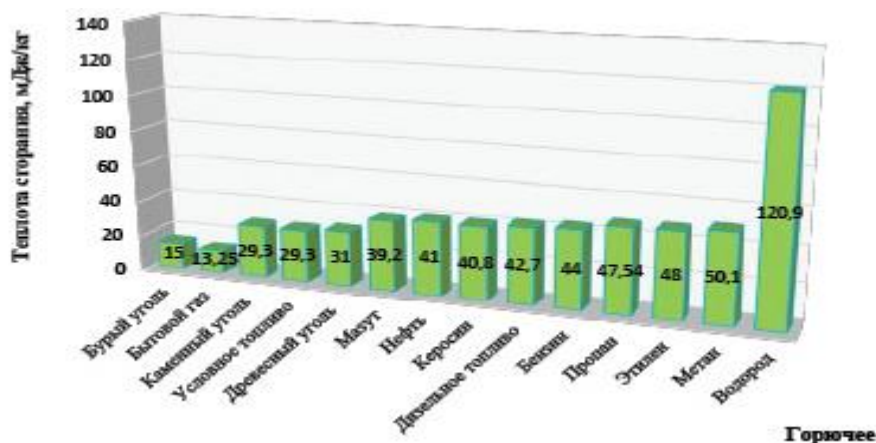
In this paper, the main types of fuel used for combustion in the combustion chambers of gas turbine installations at various types of stations are studied. The main operational requirements for the composition and content of various impurities in them are analyzed. Alternative fuels are considered, which in the future can be used for GTU.

**Keywords:** carbon, hydrogen, fuel, alternatives, combustion chamber.

Сегодня на рынке энергоресурсов ведущие позиции занимают природный газ и нефтепродукты. ГТУ способны работать на обоих видах этого топлива, что делает их более надежными и адаптивными, особенно при автономном энергоснабжении [1].

Основными видами стандартного топлива, используемого в настоящее время, являются: легкое и тяжелое дистиллятное, остаточное топливо – в результате перегонки нефти; природный газ из газовых месторождений; попутный газ из нефтяных месторождений; искусственный газ – побочный продукт доменного и коксового производств, результат подземной газификации угля [1].

Важнейшими характеристиками любого топлива являются такие условия как теплота сгорания (см. рисунок), зольность, стабильность горения, совместимость с другими видами топлива [2].



Сравнительная диаграмма удельной теплоты сгорания различных веществ

Основными составляющими органического топлива являются сложные углеводороды. Его принято представлять в виде процентного массового содержания углерода, водорода, азота, кислорода, серы, минеральной негорючей части и влаги. Основные требования – низкое содержание ванадия и сероводорода, коксуемость не более 0,2-0,5% и малая зольность. Низшая теплота сгорания должна быть не менее 39,8 МДж/кг, плотность не более 0,935 г/см<sup>3</sup>, вязкость 7,3-20,5 мм<sup>2</sup>/с. Горючей частью являются углерод, водород и сера, а негорючие – азот и кислород [2].

Целесообразность производства альтернативного топлива заключается не только в экономии природных энергоресурсов – это также и возможность утилизации отходов угля, пластика и деревообрабатывающей отрасли [3].



Одним из наиболее перспективных направлений является сухой пиролиз – термическое разложение органических соединений без доступа кислорода. В результате получают химическое сырье или топливо [4].

Другой альтернативой является биотопливо, получаемое из сырья животного или растительного происхождения. Используя быстрый пиролиз древесных материалов получают пиролизные масла, в которых не содержатся минералы и сера, пригодные для использования в качестве топлива. Такое топливо удобно хранить и легко транспортировать [4].

У водорода есть существенное экологическое преимущество благодаря устранению монооксида углерода, диоксида углерода, оксидов серы, несгоревших углеводородов и дыма. Выбросы водородных двигателей относительно невелики и состоят из воды и оксидов азота, которые значительно меньше, у обычных современных двигателей. Благодаря его использованию в КС ГТУ будет иметь: увеличенное количество пусков и останов, низкий уровень выбросов, возможность горячего пуска, минимальное время пуска, малые эксплуатационные расходы и гибкость в использовании различных топлив, удовлетворяющих требованиям рынка возобновляемых источников энергии [5].

### **Источники**

1. Злобин В.Г., Верхованцев А.А. Газотурбинные установка. Часть 1. Тепловые схемы. Термодинамические циклы: учебное пособие / В. Г. Злобин. ВШТЭ СПбГУПТД. — СПб, 2020. — 114 с.

2. Сайфуллин Э.Р., Назарычев С.А., Газейкина А.В., Ваньков Ю.В., Ларионова И.В. Анализ теплотехнических характеристик углеводородного топлива при изменении его состава. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018;20(3-4):145-150. [Электронный ресурс] <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-3-4-145-150>

3. Менделеев Д.И., Шубина А.С. Изменение характеристик топлива со временем и оценка влияния на энергетические характеристики ГТУ. В сборнике: Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения. Южно-Уральский технологический университет. Челябинск, 2020. С. 129-132. [Электронный ресурс] <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42763273>

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Шубина А.С. Сжигание альтернативных видов топлива в энергетических газовых турбинах тепловых станций. Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и

специалистов. Тюмень, 2022. С. 193-196. [Электронный ресурс]  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50050245>

5. Марьин Г.Е., Сопина Ю.В. Исследование влияния традиционного и водородного топлива на выбросы стационарных газовых турбин. В сборнике: Электроэнергетика глазами молодежи. материалы XII Международной научно-технической конференции. Нижний Новгород, 2022. С. 85-88. [Электронный ресурс]  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49497720>

УДК 543.544.3

## **ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА И ПРОДУКТОВ ЕГО ГОРЕНИЯ**

Р.И. Зайтов

Науч. рук. д-р хим. наук, профессор В.Ф. Новиков,

канд. хим. наук, доцент А.В. Танеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[zaitov\\_ruslan@rambler.ru](mailto:zaitov_ruslan@rambler.ru)

В работе рассмотрен хроматографический метод анализа газообразного топлива и продуктов его горения. В качестве объекта исследования определяем углеводородный состав природного газа Уренгойского месторождения с использованием различных адсорбентов и детектора по теплопроводности с использованием в качестве газоносителя гелия.

**Ключевые слова:** анализ газообразного топлива, хроматографические методы, токсичные вещества.

## **CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS OF GASEOUS FUEL AND ITS COMBUSTION PRODUCTS**

R.I. Zaitov

KSPEU, Kazan, Russia

[zaitov\\_ruslan@rambler.ru](mailto:zaitov_ruslan@rambler.ru)

The chromatographic method of analysis of gaseous fuel and its combustion products is considered in Gorenje. As an object of research, we determine the hydrocarbon composition of the natural gas of the Urengoy field using various adsorbents and a thermal conductivity detector using helium as a carrier gas.

**Keywords:** analysis of gaseous fuel, chromatographic methods, toxic substances.

Газообразное топливо широко используется в энергетической отрасли промышленности. Оно представляет собой смесь различного по физико-химическим свойствам углеводородов метанового ряда, которые лимитируется ГОСТом 5542-87. Для анализа газообразного топлива используются хроматографические методы, которые позволяют в процессе однократного дозирования пробы получить информацию о качественном и количественном его составе. При этом разработаны ГОСТы на газохроматографические методы определения углеводородного состава, расчет теплоты сгорания и относительной плотности на основе хроматографических данных, определения плотности и давления насыщенных паров. Кроме того, хроматографическим методом определяют компонентный состав горючих газов природного происхождения, а также сухого газа [1].

Для разделения компонентов газообразного топлива в качестве сорбентов применяют пористые полимеры Порапак Q и Хромосорб 102 на которых разделяют углеводороды от метана и гексана, а также диоксид углерода. Разделение азота, кислорода, водорода, метана и оксида углерода осуществляют на синтетическом цеолите СаХ. Кроме того, широко используют Plot колонки, заполненные диоксидом алюминия, карбоситом а также, полимерной композицией на которой разделяются также меркаптаны.

Для газохроматографического анализа природного газа используется различные типы детекторов: пламенно-ионизационного для разделения углеводородов; катаромметр-анализ водорода, кислорода азота, оксида и диоксида углерода; фотоионизационный и пламенно-фотометрический – анализ сероводорода и меркаптанов; хемилюминисцентный – разделение сероводорода, меркаптанов, сульфидов и дисульфидов; электрохимический – анализ углеводородов, кислорода, диоксида углерода, воды и меркаптанов. Кроме того, используются универсальные детекторы, к которым относятся: гелиевый разрядный, атомно-эмиссионный и масспектрометрический [2].

При сгорании газообразного топлива в энергетических установках образуется различные токсичные вещества. К ним относится сажа образование которой происходит в случае недостатка окислителя. При этом в результате термоокислительной деструкции углеводородов пламя приобретает желтую окраску. К одним из наиболее значимых загрязнителей атмосферного воздуха относятся оксиды серы, концентрация которых зависит от температуры, содержания кислорода и оксидов азота в продуктах горения газообразного топлива. К более токсичным продуктам горения относятся оксиды азота, которые образуются в топочных камерах энергетических установок в результате

синтеза оксида азота из кислорода и азота атмосферного воздуха. При горении газообразного топлива образуется также оксид углерода концентрация которого в выбросах энергетических установок не превышает 0,02%. Как правило, процесс образования оксидов углерода сопровождается потерями теплоты от химической неполноты сгорания [3].

При неполном сгорании газообразного топлива и недостатке кислорода в воздушную среду попадают углеводороды, которые принимают участие в образовании канцерогенных веществ [4].

Из канцерогенных веществ наиболее высокой токсичностью для организма человека обладает 3,4- бенз(а)пирен, который выделяется только при режимах горения, сопровождающихся образованием сажи. При полном сгорании газообразного топлива образуется диоксид углерода, который обладает наркотическим воздействием на организм человека, оказывает раздражающее действие на кожу и слизистые оболочки и поглощает инфракрасные лучи. Кроме того, для выявления утечек газообразного топлива из трубопроводной системы и технологического оборудования в него добавляют одоранты, к которым относятся: этилмеркаптан, пропилмеркаптан, бутилмеркаптан и амилмеркаптан.

Экспериментальную часть работы проводили на хроматографе Кристаллюкс-4000М с детектором по теплопроводности и колонками заполненным цеолитом СаА и оксидом алюминия. В качестве объекта исследования использовали природный газ Уренгойского месторождения приоритетным компонентом, который приведен в таблице 1 [5].

Таблица 1

Индивидуальные компоненты природного газа Уренгойского месторождения

№	Компоненты	Реакция горения	Потребление кислорода при сжигании 1 м <sup>3</sup> газа, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	Концентрация С, % об.
1	Метан	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	9,54	99,74
2	Оксид углерода	$\text{CO} + 0,5\text{O}_2 = \text{CO}_2$	2,40	0,06
3	Этан	$\text{C}_2\text{H}_4 + 3,5\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	16,80	0,14
4	Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	23,84	0,02
5	Изо-Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10} + 6,5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$	30,90	0,01
6	Н.-Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10} + 6,5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O}$	30,90	0,01
7	Н.-Пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12} + 8\text{O}_2 = 5\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	38,0	0,01
8	Сероводород	$\text{H}_2\text{S} + 1,5\text{O}_2 = \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	7,18	---

## **Источники**

1. Новиков В.Ф., Карташова А.А., Танеева А.В. Инструментальные методы анализа. В 3х частях, Часть III. Газохроматографический контроль производственных процессов в энергетике. г. Казань КГЭУ 2018-328с.
2. Другов Ю.С., Родин А.А. Газохроматографический анализ природного газа: практическое руководство. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2018 - 174 с.
3. George R.F., Chass R.Z. Control of contaminant emission from fossil fuel-fired boilers// of the Air Poll. Control ASS.-1967,-V.17, -№6, -P 392.
4. Сигал И.Я., Гуревич Н.А., Домбровская Э.П. Образование диоксида азота при рассеивании дымовых газов// Теплоэнергетика. -1980, - N11, -с. 6-8.
5. Александров Ю.Б., Танеева А.В., Новиков В.Ф. Методы исследования процесса горения газообразного топлива// Известие вузов. Проблемы энергетике. 2006, №9-10, с. 23-32.

УДК620.98

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГАЗОВЫХ ТУРБИН МАЛОЙ МОЩНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

А.А. Залялов

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zalyalovart@mail.ru

В работе представлен сравнительный анализ газовых турбин малой мощности отечественного и современного производства, которые могут быть установлены на объектах малой распределенной энергетики – мини-ТЭС и мини-ТЭЦ. Приведены технические характеристики, описана конструкция турбин. Выявлены причины отличия характеристик газовых турбин отечественного и зарубежного производства.

**Ключевые слова:** газовая турбина, мини-ТЭС, мини-ТЭЦ.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF LOW-POWER GAS TURBINES OF DOMESTIC AND FOREIGN PRODUCTION

A.A. Zalyalov  
KSPEU, Kazan, Russia  
zalyalovart@mail.ru

The paper presents a comparative analysis of low-power gas turbines of domestic and modern production, which can be installed at small distributed energy facilities - mini-HPS and mini-HPC. The technical characteristics are given, the turbine design is described. The reasons for the difference in the characteristics of gas turbines of domestic and foreign production are revealed.

**Keywords:** gas turbine, mini-HPS, mini- HPC.

В настоящее время основной энергетической базой являются тепловые электростанции, входящие в состав централизованной энергосистемы, которая служит гарантом надёжного энергоснабжения страны, ее энергетической безопасности. При этом нельзя недооценивать роль малой энергетики, так как при эксплуатации именно малых энергетических объектов возможно решение тех же задач и нередко с меньшими затратами и большей эффективностью [1,2]. Наиболее перспективным оборудованием для малой энергетики являются газовые турбины, которые обладают необходимой маневренностью и экономичностью. Объектами малой распределенной энергетики считаются тепловые электростанции (мини-ТЭС) и тепловые электроцентрали (мини-ТЭЦ) мощностью до 25 МВт. При большей мощности данные объекты должны быть присоединены к централизованной энергосистеме.

В России производителями газовых турбин малой мощности являются следующие предприятия: ПАО «ОДК-САТУРН», АО «ОДК-Авиадвигатель», АО «Уральский турбинный завод», АО «НЗЛ». Наиболее известные зарубежные производители - ABB, Alstom, General Electric, Mitsubishi, Solar.

Целью данной работы является сравнение характеристик турбин малой мощности (от 2,5 МВт) российского и зарубежного производства. Были проанализированы следующие турбины ДО-49Р, ГТУ-2,5П, SGT-100, GT5. Основные технические характеристики данных турбин представлены в таблице 1 [3-6].

Таблица 1

## Технические характеристики газовых турбин малой мощности

Характеристики/Наименование турбин	ДО-49Р	ГТУ-2,5П	SGT-100	GT5
Мощность, МВт	2,85	2,55	5,25	2,65
КПД, %	28,0	21,1	30,2/31,0	27,2
Степень повышения давления в компрессоре	2	2	2	2
Применяемое топливо	газовое / дизельное	природный газ	природный газ / другие виды газообразного и жидкого топлива	природный газ
Температура газа на выходе, °С	470	383	531	950
Расход газа на выходе, кг/с	15	25,6	20,6	15,2
Габариты (L x B x H), м	2.86 x 1.38 x 1.92	4.7 x 1,6 x 1,5	11 x 2.9 x 3.6	-
Масса	3.5 т	6500 кг	61235 кг	-

В таблице 2 представлены конструктивные особенности рассмотренных газотурбинных установок.

Таблица 2

## Конструктивные особенности газовых турбин малой мощности

Конструкция /Марка турбины	ДО-49Р	ГТУ-2,5П	SGT-100
Компрессор	10-ступенчатый осецентробежный	10-ступенчатый, барабанно-дисковый	10-ступенчатый осевой
Турбина	3-ступенчатая турбина	3-ступенчатая турбина	2-ступенчатая компрессорная
Камера сгорания	трубчатая (2 жаровые трубы)	трубчато-кольцевая	трубчато-кольцевая DLE-типа

Исходя из выше приведённых данных, можно понять, что газовые турбины малой мощности широко используются. И все же сравним. Зарубежные турбины более разнообразны в применяемом топливе, КПД отличается, но незначительно, гораздо заметнее отличие в габаритах и весе.

Если отдельно рассмотреть расход газа на выходе SGT-100, то видно, что при самой высокой мощности его показатели чуть выше, чем у ДО-49Р однако отличие мощности почти в 2 раза.

В конечном итоге турбины малой мощности это вполне убедительная альтернатива на рынке оборудования для децентрализованного производства энергии.

### **Источники**

1. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Моделирование технологических схем мини-ТЭС. Москва: Изд. дом МЭИ, 2014, 220 с.
2. Петрущенко В.А., Коршакова И.А. Качественный и количественный анализ тепловой энергетики малых мощностей в России // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020., Т.22, №5. С.52-69.
3. ОДК-Сатурн. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ues-saturn.ru/> (дата обращения 22.02.2023 г.)
4. Сахин В.В. Устройство и действие энергетических установок. СПб: Балт.гос.техн.ун-т. 2015. 131 с.
5. Лебедев А.С. Энергетические газовые турбины в России: проекты и реальность. – Рыбинск: Издательский дом «Газотурбинные технологии». 2021. 240 с.
6. Siemens energy. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/gas-turbines.html> (дата обращения 22.02.2023 г.)



## РАБОТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ОПТОВОМ РЫНКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.Р. Зиятдинова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ziytdinova\_anna180307@gmail.com

В данной работе предлагается, чтобы цена на рынке электроэнергии учитывала эксплуатационную гибкость электростанций, чтобы стоимость долгосрочных резервов мощности могла быть оплачена на краткосрочном оптовом рынке электроэнергии. С этой целью вводится индекс операционной гибкости для расчета платы за недостаток гибкости, взимаемой с отдельных электростанций на оптовом рынке электроэнергии.

**Ключевые слова:** оптовый рынок электроэнергии, ГТУ, ПГУ

## OPERATION OF ELECTRIC POWER PLANTS ON THE WHOLESALE ELECTRICITY MARKET

A.R. Ziytdinova

KSPEU, Kazan, Russia

Ziytdinova.anna180307@gmail.com

This paper proposes that the price of the electricity market should take into account the operational flexibility of power plants, so that the value of long-term capacity reserves can be paid for in the short-term wholesale electricity market. To this end, an operational flexibility index is introduced to calculate the lack of flexibility charged to individual power plants on the wholesale electricity market.

**Keywords:** wholesale electricity market, GTU, PGU.

Оптовый рынок электрической энергии и мощности (ОРЭМ) – сфера обращения особых товаров (электрической энергии и мощности) в рамках Единой энергетической системы России в границах единого экономического пространства Российской Федерации. Правовые основы функционирования оптового рынка устанавливаются Федеральным законом от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», Правилами оптового рынка электрической энергии и мощности (постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2010 №1172) и иными

нормативными правовыми актами, предусмотренными правилами оптового рынка [1].

Рынки электроэнергии - это механизмы, с помощью которых поставщики и покупатели электроэнергии взаимодействуют для определения цены и количества электроэнергии мощности. В силу физических требований и исторической эволюции рынки электроэнергии состоят из четырех типов игроков, которые формируют четыре стадии производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии [2]. Это операторы генерирующих станций, которые производят электроэнергию, операторы систем передачи (TSO), которые передают электроэнергию местным операторам распределения, энергетическим компаниями, наконец, потребителям, таким как домохозяйства, предприятия и транспортные компании.

В силу своих физических характеристик торговля электроэнергией имеет ряд особенностей по сравнению с торговлей другими товарами. Одна из ключевых особенностей заключается в том, что электроэнергия не может храниться в достаточной степени - она должна храниться таким образом, чтобы не быть слишком дорогой или слишком дешевой [3].

Это означает, что торговля электроэнергией сильно и напрямую зависит от текущей производственной ситуации и поэтому не может быть буферизована в периоды низкого спроса для последующих пиковых периодов. Поскольку производственные возможности каждого производителя ограничены, ограничена и емкость рынка, а совокупный спрос  $q$  фиксирован в каждый момент времени. Кроме того, электроэнергия является совершенно однородным товаром.

Объединенные рынки электроэнергии управляются и контролируются независимым центральным менеджером пула или оператором рынка [3]. На объединенном рынке генерирующие компании, потребители и энергосервисные компании делают ставки на продажу или покупку электроэнергии в течение следующих 24 часов. Оператор рынка отвечает за клиринг рынка, определяя принятие и отклонение заявок на покупку и продажу. Процедура клиринга рынка также определяет цену клиринга рынка для каждого периода. Затем оператор рынка решает, какие электростанции должны быть задействованы в тот или иной период [4].

Таким образом, цена определяется, в принципе, как и на открытом рынке, путем расчета заказана качество и кривой спроса. Данная точка является оптимальный объем продаж и цены. В этой точке производитель максимизирует выгоду продажи и объема выпуска [5].

### Источники

1. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.
2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-2-84-92. EDN SJMVUR.
3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.
4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.
5. Жилкина Ю.В. Развитие электроэнергетики: вертикальная интеграция или дальнейшая либерализация отрасли? // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2(38). С. 106-113. EDN VVXMIS.

УДК 621.4

## ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОРЕЛОК ГТУ

И.В. Зозуля

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zozulya.ilya@yandex.ru

В докладе исследуются различные виды горелок ГТУ и перспектива их применения в камерах сгорания.

**Ключевые слова:** Камера сгорания, ГТУ, диффузионные горелки, комбинированные горелки, горелки предварительного смешивания, вихревая горелка.

## PROSPECTS FOR IMPROVING GTU BURNERS

I.V. Zozulya

KSPEU, Kazan, Russia

zozulya.ilya@yandex.ru

The report examines various types of GTU burners and the prospect of their use in combustion chambers.

**Keywords:** Combustion chamber, GTU, diffusion burners, combined burners, pre-mixing burners, vortex burner.

При конструировании современных камер сгорания газотурбинных установок важным аспектом остается выбор горелок, входящих в систему горения топлива. В зависимости от горелки можно достичь требуемого уровня горения топлива, его равномерность и устойчивость, а также организовать устойчивый процесс горения с низким уровнем эмиссии оксидов азота  $\text{NO}_x$  и оксида углерода  $\text{CO}$  в требуемом малоэмиссионном диапазоне нагрузок [1].

Рассмотрим наиболее часто применяемое на практике устройство, выполненное в виде цилиндрического патрубка с завихрителями и соплом – горелкой предварительного смешивания. В горелке с предварительным смешиванием при незначительных нагрузках температура пламени, как правило, оказывается настолько низкой, что пламя гаснет [4]. С другой стороны, скорость распространения пламени может превышать скорость потока смеси при существенных нагрузках, то есть произойдет такое явление как “проскок” пламени. Также данный вид горелок используется в случае увеличения длины зоны смешивания, что приводит к возрастанию вероятности взаимодействия молекул азота с молекулами кислорода, которое влечет за собой возрастание объемов азота  $\text{NO}_x$ . Также отсутствие пиков температуры приводит к меньшему объему вредных выбросов, однако для горелок с предварительным смешиванием характерна небольшая область смешивания.

В свою очередь диффузионные горелки используются для розжига, работы на малых нагрузках и поддержании стабильной работы основной горелки в нормальном эксплуатационном режиме. Диффузионная горелка может быть выполнена в качестве дополнительной обечайки, расположенной снаружи коаксиально. Диффузионное пламя имеет ярко выраженный максимум в середине, также оно более устойчиво, чем пламя с предварительным смешиванием, посредством наличия зоны высокой

температуры (низких значений локальных коэффициентов избытка воздуха), даже когда при фиксированном расходе воздуха подается малое количество топлива.

Посредством комбинирования горелки с предварительным смешиванием и небольшой диффузионной горелки можно получить гибридную горелку. Данный вид горелки обеспечивает стабильное горение топлива при очень низком уровне образования оксидов азота  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_2$ . Также, отличительной особенностью комбинированной горелки является то, что растопочная горелка поддерживает постоянную зону горения, следовательно всегда имеется зона “горячего” запального пламени [3].

Далее рассмотрим вихревую горелку, предназначенную для сжигания жидкого или газообразного видов топлива. Данное устройство, как и диффузионная горелка, может применяться для розжига камер сгорания ГТУ и стабилизации фронта пламени в них [2]. Горелка состоит из вихревой камеры, завихрителя, сопло-диафрагму, корпус, штуцер подачи сжатого воздуха, форсунку, свечу зажигания, перфорированную камеру, крышку. Недостатками вихревой горелки являются невысокая стабильность горения, низкая надежность элементов конструкции, узкий концентрационный диапазон устойчивой работы, низкая эффективность охлаждения, большие гидравлические потери.

### Источники

1. Булысова Л.А., Васильев В.Д., Берне А.Л. Малоэмиссионное сжигание топлива в авиапроизводных газотурбинных установках / Л.А. Булысова, В.Д. Васильев, А.Л. Берне [Текст] // Паровые котлы, энергетическое топливо, горелочные устройства и вспомогательное оборудование котлов. — Москва: ОАО «Всероссийский теплотехнический институт», 2017. — С. .

2. Дубовицкий А.Н., Лебедев А.Б., Свердлов Е.Д. Экспериментальное исследование низкочастотных режимов неустойчивого горения бедных метановоздушных смесей в малоэмиссионных камерах сгорания без закрутки течения [Текст] / А.Н. Дубовицкий, А. Б. Лебедев, Е. Д. Свердлов // ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ. — 2018. — № 3. — С. .

3. Пат. RU 90879 U1 Российская Федерация, МПК F23R 3/28. Горелочное устройство с дополнительной кольцевой диффузионной горелкой для камеры сгорания газотурбинной установки/ Гутник Михаил Николаевич, Васильев Василий Дмитриевич (RU), Булысова Людмила Александровна, Гутник Михаил Михайлович, Кузнецов Александр Викторович, Пузиков Олег Дмитриевич, Горбань Виктор Николаевич,

Пеков Ахиллей Периклович; заявитель и правообладатель Открытое акционерное общество "Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени теплотехнический научно-исследовательский институт"

4. Костюк Р.И., Блинов А.Н., Корень В.М. Конструктивные особенности и технические характеристики газотурбинной установки энергоблока ПГУ-450Т [Текст] / Р.И. Костюк, А.Н. Блинов, В.М. Корень — . — Санкт-Петербург: Политехнический университет, 2008 — 222 с.

УДК 620.9

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Р.В. Ибадов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ibadov.2000bk@gmail.com

В статье рассмотрен процесс проектирования электрической станции малой мощности. Для этого мы рассмотрели различные этапы проектирования и рассмотрели схемы газотурбинной и паротурбинной установок.

**Ключевые слова:** электрическая станция, паротурбинная установка, газотурбинная установка, проектирование, коэффициент полезного действия.

## DESIGN OF POWER PLANTS OF LOW POWER

R.V. Ibadov

KSPEU, Kazan, Russia

Ibadov.2000bk@gmail.com

The article considers the process of designing a low-power power plant. To do this, we considered the various design stages and considered the schemes of gas turbine and steam turbine installations.

**Keywords:** electric station, steam turbine plant, gas turbine plant, design, efficiency.

Основой для проектирования электрических станций (ЭС), различных электрических систем и подстанций является составление описания объектов, которые еще не запущены в эксплуатацию. Основная

цель заключается в передаче, распределении и производстве электрической энергии [1].

Главной составляющей единой энергетической системы является ЭС. Моделирование электрических станций представляет собой систему принятия решений, в которой рассмотрены этапы перспективного и конкретного проектирования.

На первом этапе рассматриваются технико-экономические доклады (ТЭД) или технико-экономические обоснования развития энергетики регионов и страны в целом. Определяется целесообразность, необходимость строительства, а также рассматриваются различные перспективы развития электрических станций того или иного типа. Результаты, которые были получены на данном этапе, будут являться исходной информацией для начала последующего проектирования.

Две стадии конкретного проектирования станут вторым этапом моделирование электрических станций. На первой стадии формируется проект. Вторая стадия - это рабочая документация, по которой ведутся строительные, монтажные и пусконаладочные работы [2].

На рисунке 1 изображена технологическая схема электрической станции на базе газотурбинной установки.

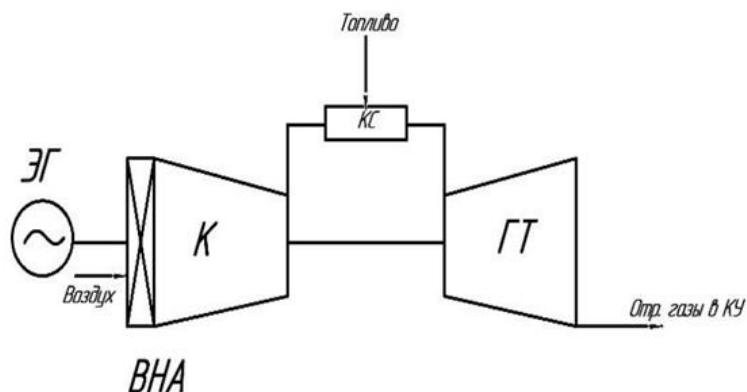


Рис. 1. Принципиальная схема работы ГТУ

Схема работы паровой турбины для ЭС изображена на рисунке 2.

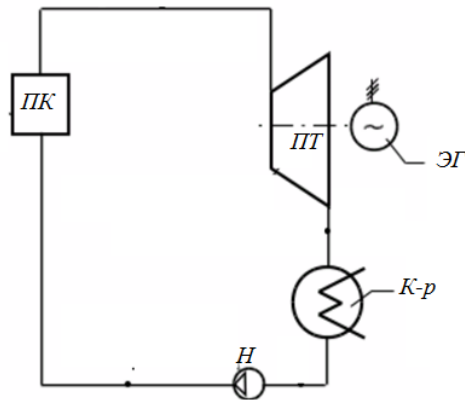


Рис. 2. Принципиальная схема работы ПТУ

ГТУ выделяет большое количество тепла, его можно использовать дополнительно оборудовав ЭС паровой турбиной, связующим звеном будет котел-утилизатор.

Паротурбинные и газотурбинные установки малой мощности вырабатывают от 1 до 25 МВт [3].

Если рассматривать Турбины мощностью 20/25 МВт, то электрический КПД ПТУ достигает 33%, а ГТУ 36%. А электрический КПД парогазовой установки составит 46%.

Таким образом, при проектировании электрической станции выгодно использовать парогазовой установки для получения большей электрической КПД.

### Источники

1. Мухамадиев М.М., Уришев Б.У., Джураев К.С., Махмудов Ж.М. Гидроаккумулирующие электрические станции малой мощности // Градостроительство и архитектура. 2016. № 1 (22). С. 21-26.
2. Ситников Н.В., Горемыкин С.А. Электрические станции и подстанции // Учебное пособие, Издательство: Воронежский государственный технический университет 2015. С. 113.
3. Нгуен Д.Т., Фам Д.Н., Мингалеева Г.Р. Оценка показателей эффективности паротурбинных мини-ТЭС, работающих на угле // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. № 3(4). С. 89-101.



## РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ГАЗОТУРБИННЫМИ И ГАЗОПОРШНЕВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Д.Э. Имамова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Imamova2016@mail.ru

В статье представлены различия между газотурбинной и газопоршневой установкой. Определяющими критериями выбора силовых являются вопросы расхода топлива, уровень эксплуатационных затрат, а также срок окупаемости оборудования.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, газопоршневая установка, экономичность, оборудование, электроснабжение.

## DIFFERENCES BETWEEN GAS TURBINE AND GAS PISTON PLANT

D.E. Imamova

KSPEU, Kazan, Russia

Imamova2016@mail.ru

The article presents the differences between a gas turbine and a gas piston plant. The determining criteria for choosing power plants are the issues of fuel consumption, the level of operating costs, as well as the payback period of the equipment.

**Keywords:** gas turbine plant, gas piston plant, economy, equipment, power supply.

Развитие и стабильное функционирование ключевых сфер общества и государства в целом очень трудно представить без развития энергетики [1].

В электроснабжении объектов используют различные электрогенераторы, приводимые в действие дизельными, газопоршневыми и газотурбинными установками [2-4]. Для обеспечения питанием мощных потребителей лучше всего подходят газопоршневые и газотурбинные генераторы. Уровень технического совершенства установок определяется такими показателями: долговечностью, мощностью, расходом топлива [5, 6]. Сравним окупаемость, стоимость обслуживания и цены этих двух установок.

Газотурбинные установки (ГТУ) являются прогрессивными высокоэкономичными энергетическими системами, использующими в качестве рабочего тела продукты сгорания углеводородного топлива (газы)[1].

Газопоршневая установка (ГПУ) – это вид энергетического оборудования, предназначенного для децентрализованного производства электрической энергии. Основу газопоршневой установки составляет приводной двигатель внутреннего сгорания (ДВС), работающий на природном газе или жидком топливе [2] (таблица).

Таблица

Сравнительная таблица газопоршневых (ГПУ) и газотурбинных (ГТУ) установок

Параметр сравнения	ГПУ (поршневые)	ГТУ (турбинные)
Площадь под размещение объекта	Довольно большая	Маленькая
Цена за кВт мощности	\$400-800	\$1400-2000
Используемый вид топлива	природный газ, биогаз	природный газ, биогаз
Установленная мощность:		
-электрическая	-250 кВт	-250 кВт
-тепловая	-0,315 Гкал	-0,315 Гкал
КПД электрической	-30%	-39%
КПД тепловой	-50%	-42%
Цена обслуживания	Нормальная	Низкая
Удобство использования	Нормальная	Высокая
Экологичность	Высокая	Высокая
Срок службы	без ограничения при соблюдении правил эксплуатации и обслуживания	без ограничения при соблюдении правил эксплуатации и обслуживания
Обслуживание	остановка после каждой 1000 ч работы, замена масла, кап. ремонт через 60000 ч., выполняется на месте установки	остановка после каждых 2000 ч (данные фирмы Solar) кап. ремонт через 60000 ч., выполняется на специальном заводе

Исходя из таблицы можно сделать вывод, что для газотурбинного оборудования подходят места, с ограниченной площадью. Поэтому

имеется возможность монтажа на крышах зданий, уровень шума будет низким.

Газопоршневые установки могут работать с минимальным шумом, при условии установки глушителей. По этой причине эти оборудования нельзя устанавливать на крышах зданий, как газотурбинные. Газотурбинные установки, оптимизированные для включения в течение 12 часов работы, используются для длительного непрерывного электроснабжения. Эти установки лучше всего подходят для вторичного или параллельного электроснабжения объекта. Газопоршневые установки, которые значительно дороже в эксплуатации и имеют высокие условия ограничений по режимам работы, целесообразно использовать в качестве резервных источников питания, способных без задержек выдавать максимальную мощность и поддерживать ее в течение определенного времени. Таким образом, ГТУ предпочтительны для размещения в плотной городской застройке. Газопоршневые (ГПУ) лучше с экономической точки зрения, для выработки большого числа электроэнергии в случае наличия достаточной площади для их размещения (1-2 стандартных контейнера). Быстрый срок окупаемости (стоимость в 2-3 раза ниже, расход газа на кВт\*ч вдвое меньше).

### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Процессы реформирования электроэнергетики в России // Энергетик. 2020. № 1. С. 29-32. EDN UCPRRI.

2. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Инструментальная среда исследования газотурбинных установок // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 1. С. 22-25. EDN KPSXOT.

3. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Титов А.В., Гафуров Н.М. Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок // Энергетика Татарстана. 2015. № 3(39). С. 20-25. EDN UJZEYR.

4. Соловьев И.С., Валиев Р.И., Нугманов Д.Ф. и др. Применение мобильных мини-ТЭЦ с ГТУ как важный фактор освоения труднодоступных территорий России // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. Комсомольск-на-Амуре:

Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 172-175. EDN ERBLBC.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

6. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

УДК 62-622

## **СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ ЭМИССИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГТУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТАНО-ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА**

А.В. Ишалин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.В. Титов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aiv1999@yandex.ru

В статье рассмотрены методы минимизации эмиссии вредных веществ при использовании метано-водородного топлива.

**Ключевые слова:** Метано-водородное топливо, ГТУ, топливо, турбина, мощность, природный газ, энергия.

## **METHODS FOR MINIMIZING EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES IN GTU COMBUSTION CHAMBER USING METHANE-HYDROGEN FUEL**

A.V. Ishalin

KSPEU, Kazan, Russia

Aiv1999@yandex.ru

The article discusses methods for minimizing the emission of harmful substances when using methane-hydrogen fuel.

**Keywords:** Methane-hydrogen fuel, gas turbine, fuel, turbine, power, natural gas, energy.

Одна из текущих тенденций в энергетической политике Российской Федерации, заключается в снижении эмиссии вредных веществ. Основные виды вредных веществ, получаемые при горении топлива в камере сгорания ГТУ - это  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{HC}$ . Снизить эмиссию может позволить метано-водородное топливо, которое считается более экологичным, чем природный газ и энергетически эффективным [1].

Метано-водородное топливо способно снизить выбросы вредных веществ, однако при не правильной организации горения этот эффект может быть минимальным, либо даже отрицательным. Существует ряд условий, невыполнение которых грозит повышением эмиссии, к ним можно отнести:

- Высокая однородность смеси перед подачей в КС
- Температуры в зоне горения от  $700\text{ }^\circ\text{C}$  до  $1500\text{ }^\circ\text{C}$
- Постоянство состава топливной смеси

Высокая однородность смеси требуется для создания стабильного горения, равномерного температурного поля и высокой полноты сгорания. Не стабильное горение очень опасно для камеры сгорания и может повлечь различные отклонения от нормальной работы, вплоть до срыва пламени. Высокая однородность так же требуется для создания равномерного температурного поля в зоне горения. Невыполнение это условия может грозить повышенной эмиссией в камере сгорания, что недопустимо. Высокая полнота сгорания обеспечивает как высокие экологические показатели, так и экономические. Снижение полноты сгорания приводит к уменьшению полезной работы затрачиваемого топлива и как следствие снижение КПД ГУ в целом и КПД камеры сгорания в частности. Для этого необходимо большое внимание уделять подготовке топливного газа [2]. При подмешивании водорода непосредственно перед камерой сгорания, необходимо эффективное подмешивающее устройство, которое обеспечит высокую однородность получаемой смеси.

Необходимость в поддержании температуры в зоне горения необходимо для минимизации химических реакций, образующих вредные вещества. Образование «термических» оксидов  $\text{NO}_x$  резко возрастает с повышением температуры в зоне горения и с увеличением концентрации атомарного кислорода. При температурах  $1300\text{-}1400\text{ K}$  содержание  $\text{NO}_x$  в продуктах сгорания практически отсутствует; при температурах  $1700\text{ K}$  содержание  $\text{NO}$  доходит до  $2\text{ г/м}^3$ .  $\text{CO}$  образуется в больших количествах вследствие нехватки кислорода для окисления углерода до углекислого газа. Низкая скорость горения или нехватка времени пребывания продуктов сгорания в зоне горения так же влияет на его образование [3].

Постоянство состава топливной смеси в большей степени зависит от поступающего природного газа, в меньшей от чистоты полученного

водорода. Состав топливной смеси может так же сильно влиять на КС, начиная от изменения низшей теплотворной способности топлива, заканчивая увеличением содержания тяжелых углеводородов. Однако, повлиять мы можем только на состав водорода, чистота которого, в большей степени, зависит от его производителя.

Метано-водородное топливо достойная альтернатива природному газу, в части экологии, однако для получения максимального эффекта необходимо выполнить ряд условий.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В., Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок, Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3 (158). С. 342-355.

2. Марьин, Г.Е. К вопросу подготовки топливного газа для парогазовых энергоблоков / Г.Е. Марьин, Д.И. Менделеев // Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация" : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 28–29 апреля 2020 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 199-201.

3. Шаймарданов, Т.В. Влияние режимных параметров ГТУ на уровень эмиссии вредных веществ / Т. В. Шаймарданов, Н. С. Сеньюшкин // . – 2020. – № 2(23). – С. 130-134. – EDN KUMMYZ.

УДК 62-622

## **УМЕНЬШЕНИЕ СТОИМОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОКАЛОРИЙНОГО СИНТЕЗ ГАЗА И ВОДОРОДА**

А.В. Ишалин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.В. Титов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aiv1999@yandex.ru

В статье рассмотрены методы минимизации эмиссии вредных веществ при использовании метано-водородного топлива.

**Ключевые слова:** метано-водородное топливо, ГТУ, топливо, турбина, мощность, природный газ, энергия.

# REDUCING THE COST OF NATURAL GAS THROUGH THE USE OF LOW-CALOR SYNTHESIS GAS AND HYDROGEN

A.V. Ishalin  
KSPEU, Kazan, Russia  
Aiv1999@yandex.ru

The article considers methods for minimizing harmful emissions from the ingress of methane-hydrogen fuel.

**Keywords:** Methane-hydrogen fuel, gas turbine, fuel, turbine, power, gas consumption, energy.

Затраты на топливо являются основными в период эксплуатации энергетического оборудования. Стоимость топлива в большей мере формирует конечную стоимость электроэнергии. На данный момент природный газ - самое оптимальное топливо по экологическим, экономическим и энергетическим характеристикам. Однако, запасы природного газа не безграничны и следует разрабатывать альтернативные виды топлива.

Одним из таких альтернативных топлив может служить смесь синтез газа и водорода. Синтез газ, в зависимости от способа производства, не всегда отвечает экологическим и энергетическим требованиям ГТУ, однако, он может иметь стоимость ниже, чем у природного газа. Чистый водород в свою очередь имеет высокие экологические и энергетические показатели, но является очень дорогим топливом [1]. Водород способен повысить энергетические показатели низкокалорийного синтез газа [2,3].



Низшая теплота сгорания различных газов

Синтез газ имеет меньшую теплоту сгорания, чем природный газ, что отображено на рисунке. При определённом составе смесь синтез газа и водорода может отвечать экологическим и энергетическим показателям и при этом иметь стоимость ниже природного газа.

Смесь синтез газа и водорода перспективна для сжигания в камерах сгорания ГТУ. В этой смеси 2 газа нивелируют свои недостатки и в итоге получается конкурентно способное топливо.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В., Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок, Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3 (158). С. 342-355.

2. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок / Г.Е. Марьин, Б.М. Осипов, А.Р. Ахметшин, М.В. Савина // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25, № 3(158). – С. 342-355. – DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. – EDN RCIJEG.

3. Марьин, Г.Е. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок / Г. Е. Марьин, Б. М. Осипов, А. Р. Ахметшин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 2. – С. 84-92. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-2-84-92. – EDN SJMVUR.

УДК 620.9

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ PG611FA**

И.Р. Казбакова

Науч рук. канд. техн. наук, С.С. Тимофеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

iluza.ru@gmail.com

В статье приведены результаты расчетов газотурбинной установки PG611FA на различных режимах работы. Данное исследование позволило определить такие параметры, как мощность, расход топлива и эффективный КПД в зависимости от изменения температуры в камере сгорания.

**Ключевые слова:** природный газ, топливо, камера сгорания, математическая модель, газотурбинная установка.



# RESEARCH OF OPERATION MODES OF GAS TURBINE UNIT PG611FA

I.R. Kazbakova  
KSPEU, Kazan, Russia  
iluza.ru@gmail.com<sup>1</sup>

The article presents the results of the gas turbine installation PG611FA in various operating modes. This study allowed us to determine such parameters as power, fuel consumption and effective efficiency depending on the temperature change in the combustion chamber.

**Keywords:** natural gas, fuel, combustion chamber, mathematical model, gas turbine plant.

Газотурбинная установка (ГТУ) характеризуется эффективной и надежной работой, что можно обеспечить при соблюдении определенных режимов. Работа ГТУ напрямую зависит от внешних параметров: температуры, давления и других показателей [1].

В данном исследовании была рассмотрена турбина PG 6111 FA производства General Electric, которая имеет номинальную мощность 77 МВт. В ГТУ в качестве топлива используется природный газ [1, 2].

Для исследования режимов работы газотурбинной установки была создана математическая модель с помощью программного комплекса АС ГРЕТ [3, 4]. Принципиальная схема для создания математической модели изображена на рисунке 1.

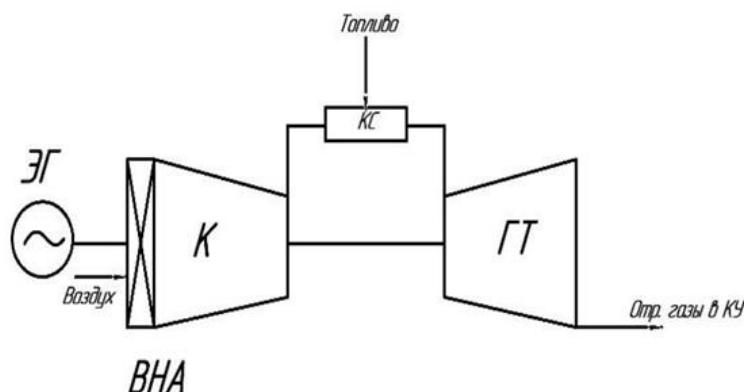


Рис. 1. Принципиальная схема работы ГТУ

На рисунке 2 представлено окно используемой программы, в которое внесены входные данные выбранной газотурбинной установки.

Входные данные узлов	
[1010]	КВОУ (комплексное воздухоочистительное устройство) (ВхУ)
[10111]	Электрогенератор (ЭГ)
[1210]	Переходной канал (ПК)
[2111]	Компрессор осевой 18 ступенчатый (К2у)
[1310]	Переходной канал (ПК)
[4010]	Камера сгорания противоточная (КС)
[1410]	Переходной канал (ПК)
[5011]	Турбина (Тур)
[1510]	Переходной канал (ПК)
[1110]	котел-утилизатор (ПК)
[1610]	Дымовая труба (выходное устройство) (ПК)

Рис.2. Входные данные узлов ГТУ

Внутренняя дроссельная характеристика позволяет рассчитать изменения следующих параметров: потребная мощность, КПД и суммарный часовой расхода топлива. Они происходят зависимости от преобразования температуры газа в камере сгорания (КС).

В соответствии с законом управления были рассмотрены шесть режимов, каждому из которых соответствует температура в камере сгорания: 1417 К, 1427 К, 1437 К, 1447 К, 1457 К. В результате расчетов были получены графики, представленные на рис. 3 а, б, в.



Рис.3. Результаты расчетов:

- а) изменение потребной мощности от температуры в КС; б) изменение расхода топлива от температуры в КС; в) изменение КПД от температуры в КС

Повышение температуры в камере сгорания является качественным дросселированием. Результаты расчетов показали, что рассматриваемая ГТУ на природном газе при температуре в камере сгорания 1457 К (номинальный режим) обеспечивает 33% КПД, 60778 кВт мощности. При этом суммарный часовой расход топлива составляет 13460,7 кг/ч.

В дальнейшем будет исследована работа турбины PG 6111 FA, работающей на альтернативном топливе – биогазе.

### Источники

1. Усмонов Н.О., Ахматова С.Р. Оптимальные параметры регулирования режимов работы газотурбинных установок // Молодой ученый. 2016. № 11 (115). С. 515-518.
2. Марьин Г.Е., Осипов Б. М., Зунино П., Менделеев Д.И. Влияние состава топлива на энергетические параметры газотурбинной установки // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. № 5 С. 41-51.
3. Титов А.В., Осипов Б.М. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях // Вестник КГЭУ. 2017. № 4(36). С. 17-21.
4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 2 (151). С. 356-365.

УДК 662.76

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАДИИ СУШКИ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В ПОТОЧНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ

Е.В. Клейн

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
zombee1997@mail.ru

В статье исследована стадия сушки одной частицы Ирша-Бородинского угля различного диаметра и влажности. Определены значения количества теплоты, необходимых для сушки каждой частицы.

**Ключевые слова:** поточный газогенератор, стадия сушки, твёрдое топливо, синтез-газ.

## INVESTIGATION OF THE DRYING STAGE OF SOLID PARTICLES IN IN-LINE GAS GENERATORS

E.V. Klein

KSPEU, Kazan, Russia  
zombee1997@mail.ru

The article investigates the drying stage of one particle of Irsha-Borodino coal of various diameters and humidity. The values of the amount of heat required for drying each particle are determined.

**Keywords:** in-line gas generator, drying stage, solid fuel, synthesis gas.

Крупные изменения, которые происходят в энергетической политике, непрерывный рост цен на нефть и природный газ на мировом рынке, диктуют условия, при которых необходимо использовать новые технологии использования твёрдого топлива. Газификация является перспективным способом использования твёрдого топлива с синтез-газом в качестве конечного продукта.

Причины развития газификационных технологий: высокая плата за эмиссию двуокиси углерода; возможность использования угля в качестве топлива для ГТУ; увеличение энергетической безопасности в случае перебоев в поставках природного газа; производство «чистого» топлива; дефицит углеводородов; производство высококачественного синтетического топлива [1].

Самыми перспективными, на данный момент, считаются поточные газогенераторы. Они отвечают высоким экологическим и экономическим требованиям, а также имеют высокую производительность. Они по существующим на данный момент показателям и перспективе развития, наиболее подходящие не только для тепловых электростанций, но и для химической промышленности. Основными недостатками являются достаточно высокие требования к материалу, из которого изготавливается аппарат, а из этого следует, что требуются большие капитальные затраты для подготовки окислителя и топлива. Однако, несмотря на всё это поточный газогенератор можно достаточно просто включить в уже имеющуюся технологическую схему, что значительно снижает затраты на внедрение и обслуживание [2].

Для проектирования поточного газогенератора требуется провести термодинамический, конструктивный и технико-экономический расчёт. В газификаторе выделяют несколько независимых процессов преобразований топлива: процесс сушки топлива; выделение летучих веществ; горение летучих веществ; газификация коксового остатка. Каждая стадия протекает со своей скоростью, на которую влияют режимные параметры проведения процесса. При их расчёте необходимо учитывать множество параметров, таких как характеристики топлива, внешние условия процесса, связанные с конструкцией газогенератора и способа движения топлива. Невзирая на то, что в области газификации написано множество работ, в настоящее время нет надёжных методов математического моделирования и расчёта газогенератора [3]. Ситуацию усугубляет отсутствие нормативной документации по газификации. Поэтому требуется провести расчёты для построения математической модели, с помощью которой можно будет определить конструктивные

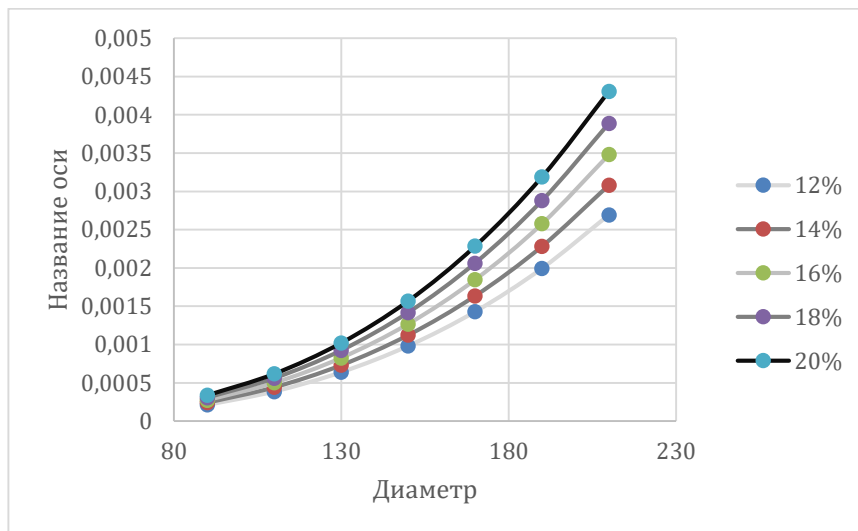
характеристики аппарата. А также в зависимости от исходных характеристик топлива, физико-химических факторов и режимных параметров работы рассчитать эффективность процесса газификации.

В данной работе исследуется зона сушки и определяется количество теплоты, которое необходимо затратить для различных по размеру и влажности частиц угольной пыли. Данный процесс осуществляется за счёт теплоотдачи от горячего синтез-газа. В этом процессе теплота газа расходуется на испарение влаги и нагрев угольной частицы. Количество необходимой теплоты можно вычислить по формуле:

$$Q_{mp_i} = r m_{H_2O} + c_{к0} m_{к0} (T_{исп} - T_0) + c_{H_2O} m_{H_2O} (T_{сг} - T_{исп}), \quad (1)$$

где  $m_{к0} = V_k \cdot \rho_k$  – масса капли ВУТ, кг;  $V_k = \frac{\pi d^3}{6}$  – объем капли ВУТ, м<sup>3</sup>; диаметр капли  $d$  определен на основании экспериментальных данных [4];  $\rho_k = \omega_{ye} \cdot \rho_{ye} + \omega_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}$  – плотность капли, кг/м<sup>3</sup>.

Вычисления проводились для одной частицы Ирша-Бородинского угля диаметром от 90 до 210 мкм и влажностью от 12 до 20%. Результаты вычислений представлены на рисунке.



Необходимое количество теплоты на сушку частицы угля

Основываясь на результатах расчёта, можно сделать вывод, что с увеличением влажности и диаметра частиц пыли возрастает и количество теплоты для данного процесса. Также наглядно видно, что при малых значениях диаметра частицы с увеличением влажности количество

затрачиваемой теплоты увеличивается не так сильно и с возрастанием размера, увеличивается и разница расходуемой теплоты.

### **Источники**

1. Создание унифицированного энергооборудования для энергоблоков с внутрицикловой газификацией твердого топлива мощностью 200-300 МВт / В.Е. Михайлов, Л.А. Хоменок, Н.С. Шестаков, А.Э. Лейкам // . – 2011. – № 3(8). – С. 115-118.

2. Тимофеева С.С. Исследование режимных параметров поточного газогенератора при газификации твердого топлива / С.С. Тимофеева, Г.Р. Мингалеева // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 16. – С. 216-223.

3. Вандышева С.С. Исследование термодинамических параметров процесса газификации под давлением в поточном газогенераторе / С.С. Вандышева, Г.Р. Мингалеева // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2010. - №2. - С.171-176.

4. Делягин Г.Н. Вопросы теории воспламенения и горения распыленной водоугольной суспензии / Г.Н. Делягин // «Кинетика и аэродинамика процессов горения топлива» Сб. научных трудов. М.: Наука, 1969. – С. 111-127.

УДК 621.311

## **РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ИМПОРТА**

М.Д. Кораблев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

maks.korablev02@mail.ru

В статье проведен анализ современной обстановки энергетической отрасли России и дальнейшие ее перспективы развития в условиях ограничения импорта и введения множества санкций. Произведено сравнение коэффициента полезного действия производства электроэнергии из различных видов топлива.

**Ключевые слова:** Санкции, энергетический комплекс, импортозамещение, энергомашины, паровые турбины, газовые турбины.

## DEVELOPMENT OF THE ENERGY COMPLEX OF THE RUSSIAN FEDERATION IN CONDITIONS OF LIMITED IMPORTS

M.D. Korablev

KSPEU, Kazan, Russia

maks.korablev02@mail.ru

The article analyzes the current situation of the Russian energy industry and its further development prospects in the context of import restrictions and the introduction of many sanctions. A comparison of the efficiency of electricity production from various types of fuel is made.

**Keywords:** Sanctions, energy complex, import substitution, power machines, steam turbines, gas turbines.

В условиях сложившейся обстановки на мировой арене, энергетический комплекс России оказался не в самом лучшем положении. Вводится множество различных санкций, огромное количество поставщиков оборудования для тепловых электрических станций и не только отказываются от сотрудничества. Это приводит не только к усложнению строительства новых энергообъектов, но и к потере возможности обслуживания уже имеющихся, так как значительные объемы энергомашин закупились в свое время из-за рубежа [1-4]. В связи с подобной ситуацией можно выделить несколько дальнейших перспектив развития энергетического комплекса России: Разработка собственного вспомогательного оборудования и мощностей, способных обеспечить достаточный контроль и обслуживание для уже имеющихся импортных машин. Это позволит продлить сроки службы, в перспективе ожидания возвращения иностранных компаний в Россию и ослабления санкций. Развитие импортозамещения, наращивание производственных мощностей и модернизация собственных энергомашин. На данный момент почти полностью независимой сферой энергетики является атомная. Все необходимые производственные объекты располагаются на территории страны и не маловажен факт того, что Россия является лидером в данной сфере. Но также присутствуют и значительные мощности производства паровых и газовых турбин [5-8]. Российские турбины обладают достаточными мощностями, но значительно уступают зарубежным по КПД [7-9].

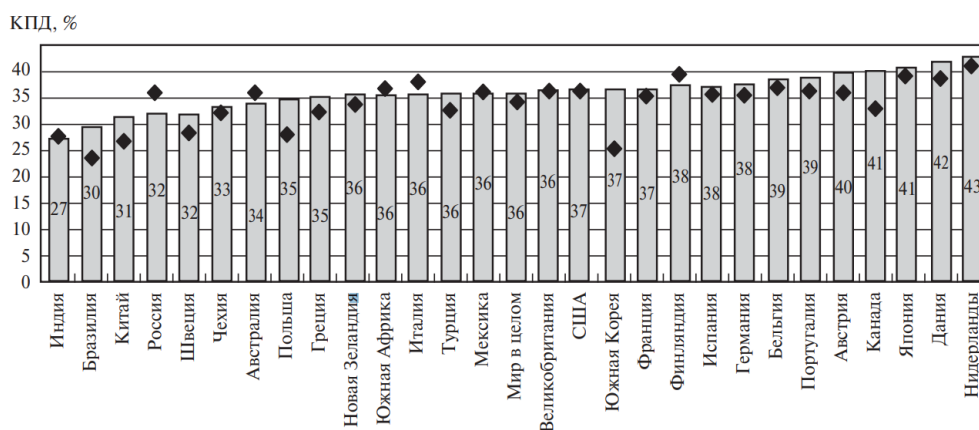


Рис.1. Показатели КПД производства электроэнергии при сжигании угля с указанием отметки 10 лет назад

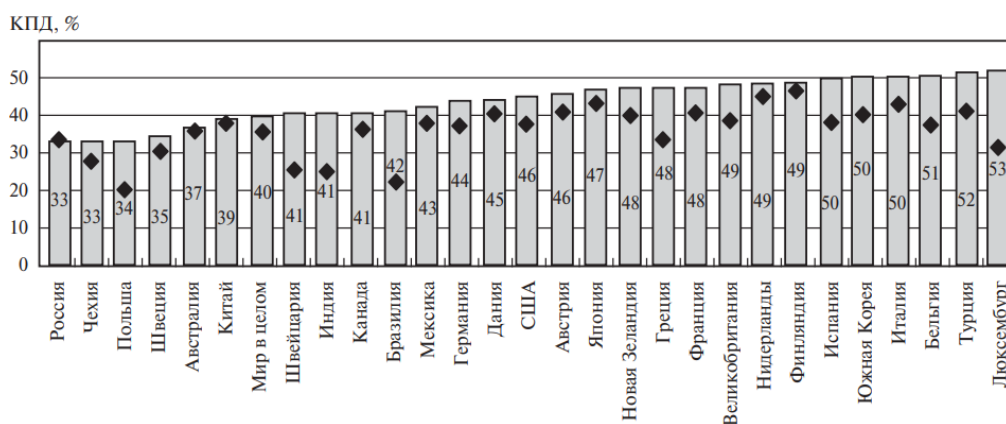


Рис. 2. Показатели КПД производства электроэнергии при сжигании газа с указанием отметки 10 лет назад

Исходя из проанализированной информации перспективы развития энергетического комплекса Российской Федерации заключаются в модернизации и увеличения наукоемкости собственных производств. Необходима стимуляция внутреннего рынка для наращивания темпов развития собственных энергомашин и выхода на конкурентоспособный уровень.

### Источники

1. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

2. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.



3. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVB.

4. Осипов Б.М., Титов А.В., Перельштейн Б.Х. Исследование характеристик турбовального газотурбинного двигателя с отбором рабочего тела для функционирования газодинамического лазера // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 65-68. EDN YGTHLR.

5. Шишин А.А., Титов А.В., Осипов Б.М., Кривоносова В.В. Исследование впрыска воды и подвода пара в проточную часть энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9-10. С. 47-51.

6. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.

7. Жилкина Ю.В. Экономическая безопасность России (оценка внутренних проблем) // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2010. № 3(18). С. 161-168. EDN MVPUJH.

8. Жилкина Ю.В. Развитие электроэнергетики: вертикальная интеграция или дальнейшая либерализация отрасли? // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2(38). С. 106-113. EDN VVXMIS.

9. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

## ПОДГОТОВКА ПЕРСОНАЛА АЭС

О.А. Кочнева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kochneva\_olya104@mail.ru

В статье подчеркивается важность организационной эффективности сотрудников, приверженности к льготам и безопасности сотрудников. Одним из залогов психологической подготовки личного состава является формирование рационального подхода к вопросам безопасности, психологической подготовленности и уважения к ценностям культуры безопасности.

**Ключевые слова:** человеческий фактор, профессиональная надежность персонала АЭС, культура безопасности, психологическая подготовка персонала АЭС, подготовка по культуре безопасности.

## NPP STAFF TRAINING

O.A. Kochneva

KSPEU, Kazan, Russia

kochneva\_olya104@mail.ru

The article highlights the importance of employee organizational effectiveness, commitment to employee benefits, and employee safety. One of the guarantees of the psychological training of personnel is the formation of a rational approach to security issues, psychological preparedness and respect for the values of security culture.

**Keywords:** human factor, professional reliability of NPP personnel, safety culture, psychological training of NPP personnel, safety culture training.

Вклад атомных станций в загрязнение атмосферного воздуха по сравнению со всеми отраслями народного хозяйства [1-3] остается ничтожно малым.

Атомные электростанции (АЭС) требуют высококвалифицированного персонала для их эксплуатации и обслуживания. Эти лица должны пройти тщательную подготовку, чтобы обеспечить безопасную и эффективную работу станции. Подготовка

персонала АЭС представляет собой сложный и непрерывный процесс, включающий несколько этапов.

Во-первых, персонал должен пройти общую подготовку, чтобы получить базовое представление о ядерных технологиях, радиационной безопасности и конкретных операциях станции. Это обучение обычно занимает несколько месяцев и включает в себя лекции в классе, моделирование и практические занятия.

После прохождения общего обучения персонал направляется в определенные участки предприятия и проходит специальную подготовку. Это обучение сосредоточено на конкретном оборудовании, системах и процедурах, связанных с их обозначенной областью. Он включает в себя как классное, так и практическое обучение, а также моделирование и оценку.

После того, как персонал прошел специализированное обучение, он проходит обучение на рабочем месте (ОJT), которое дает практический опыт работы в назначенной области под руководством опытного персонала. ОJT обычно длится несколько месяцев и позволяет персоналу применять свое обучение в реальных условиях, оставаясь при этом под руководством более опытных коллег.

Обучение персонала АЭС не ограничивается начальной подготовкой. Непрерывное обучение и переподготовка необходимы для обеспечения того, чтобы персонал оставался в курсе последних технологий и требований безопасности. Сюда входят регулярные курсы повышения квалификации и обучение работе с новым оборудованием, системами и процедурами.

Помимо технической подготовки, персонал также проходит обучение по культуре безопасности, общению и реагированию на чрезвычайные ситуации [4-6]. Обучение культуре безопасности подчеркивает важность безопасности во всех аспектах работы станции, а обучение общению обеспечивает эффективное общение персонала друг с другом и с руководством станции. Обучение реагированию на чрезвычайные ситуации готовит персонал к реагированию на различные чрезвычайные ситуации и к совместной работе по смягчению последствий потенциальных инцидентов.

В целом подготовка персонала АЭС представляет собой комплексный и непрерывный процесс, требующий значительных затрат времени и ресурсов. Тем не менее, важно обеспечить безопасную и эффективную работу станции и защитить как персонал, так и окружающую

среду. Поэтому крайне важно, чтобы АЭС продолжали уделять приоритетное внимание обучению и развитию своего персонала.

### **Источники**

1. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

2. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.

3. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVB.

4. Осипов Б.М., Титов А.В., Перельштейн Б.Х. Исследование характеристик турбовального газотурбинного двигателя с отбором рабочего тела для функционирования газодинамического лазера // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 65-68. EDN YGTHLR.

5. Шишин А.А., Титов А.В., Осипов Б.М., Кривоносова В.В. Исследование впрыска воды и подвода пара в проточную часть энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9-10. С. 47-51. EDN PLRDHL.

6. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.

УДК 621-313.3

## **РЕФОРМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

Р.С. Кошеварова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

regina.koshevarova05@mail.ru

В данной работе произведено исследование экономического положения электроэнергетики России до и после проведения реформы. Рассмотрены этапы реформы и итоги ее проведения.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, реформа, экономика, компания.

# ELECTRIC POWER INDUSTRY REFORM IN RUSSIA

R.S. Koshevarova  
KSPEU, Kazan, Russia  
regina.koshevarova05@mail.ru

This paper examines the economic situation of the Russian electric power industry before and after the reform. The stages of the reform and the results of its implementation are considered.

**Keywords:** electric power industry, reform, economy, company.

Электроэнергетика - это отрасль энергетики, включающая в себя разнообразие способов производства электроэнергии и обеспечение ею народа [1-3]. В России главной компанией, которая занимается производством и передачей энергии, является Единая электроэнергетическая система (ЕЭС).

В 1990-х годах в России начался кризис в области электроэнергетики. В то время около 20 энергосистем находились в банкротстве. У них было устаревшее оборудование, не хватало денег на оплату электроэнергии, происходили сбои в электроснабжении. Сами энергетики устраивали голодовки и забастовки.

В 1992 г. в ходе радикальной экономической реформы было создано РАО «ЕЭС России». Его возглавил Анатолий Чубайс в 1998 году. Именно тогда он поставил цель увеличить объем вкладов в отрасль и создать современный конкурентный рынок.

В декабре 1999 года началась подготовка реформы, а в июле 2001 уже подписали распоряжение «О реформировании электроэнергетики РФ». Реформа предполагала разделение единого энергохолдинга РАО «ЕЭС России» на отдельные компании разных направлений: генерация, передача электроэнергии и ее сбыт.

На первом этапе реформы были приняты новые федеральные законы, что положило начало преобразованию областных энергокомпаний. Были внедрены современные технологии управления в компаниях, обеспечение оплаты поставляемой энергии денежными средствами, современные технологии [4-6].

На втором этапе реформы произошло само разделение компаний холдинга. В начале генерация и сбытовая деятельность были частной собственностью, а остальные объединения находились под руководством

государства. Со временем большая часть компаний тоже становились частными. И в состав РАО ЕЭС входили 72 АО-энерго.

В связи с завершением реформы РАО «ЕЭС России» было устранено 1 июля 2008 года. К этому времени уже было видно эффективность конкурентного механизма ценообразования на электрическую энергию. Создали предпосылки и новые механизмы привлечения инвесторов в отрасль. До реформы государство регулировало 78% от общего объема мощностей в РФ, после реформы — 45%. На российском рынке появились крупные международные компании: Fortum, Enel, E.ON.

Также создавалась рыночная инфраструктура. Появилось некоммерческое партнерство «Администратор», ОАО «Системный оператор ЕЭС».

Анатолий Чубайс в 2018 году подвёл итоги реформы. В целом было введено 39,8 тыс. МВт новых мощностей, что втрое больше, чем в предыдущие годы.

#### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Обеспечение экономической безопасности государства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 8(65). С. 50-57. EDN LDEVNR.

2. Жилкина Ю.В. Процессы реформирования электроэнергетики в России // Энергетик. 2020. № 1. С. 29-32. EDN UCPRRI.

3. Жилкина Ю.В. Пути повышения экономической безопасности Российской Федерации // Финансовый бизнес. 2010. № 4(147). С. 17-22. EDN RXXOHF.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

6. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ ПО РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

Я.Ю. Красивов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zzasd95@mail.ru

Целью работы является рассмотреть проблемы и пути развития водородной энергетики в Республике Татарстан. Проанализировать основные возможности для производства, транспортировки, использования водорода на предприятиях Татарстана.

**Ключевые слова:** использование водорода, водородная энергетика, хранение.

## **PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF HYDROGEN TECHNOLOGIES IN THE ENERGY SECTOR IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN**

Ya.Yu. Krasivov

KSPEU, Kazan, Russia

zzasd95@mail.ru

Purpose: to consider the problems and ways of developing hydrogen energy in the Republic of Tatarstan. To analyze the main opportunities for the production, transportation, use of hydrogen at the enterprises of Tatarstan.

**Keywords:** hydrogen use, hydrogen energy, storage.

Республика Татарстан один из сильных ведущих, экономически промышленных регионов Татарстана соединяет важные транспортные магистрали со всех четырёх основных направлений и обладает высоким экономическим потенциалом. Конкурентные преимущества Татарстана по сравнению с другими республиками, это выгодное географическое положение, богатые природные ресурсы, высококвалифицированная рабочая сила, мощная промышленность и наука разветвлённая во всех направлениях .

С каждым годом мировое потребление энергии растёт и из-за этого возникает необходимость повысить энергоэффективность энергетических

блоков, установок, что является самым главным решением в данной проблеме.

В Татарстане имеются основные возможности для производства «зеленого» водорода, кроме использования атомной энергии. На всех традиционных электростанциях Татарстана осуществляется электролиз воды с получением экологически чистого водорода высокой чистоты для систем охлаждения электротурбин. Технология разрабатывалась десятилетиями и понятна энергетикам. На НПЗ ПАО «Нижнекамскнефтехим» на установках каталитического риформинга тяжелой нефти (ТНК) производится водород, который затем используется для сероочистки топлива. Этот водород можно использовать в высокотемпературных топливных элементах, а также для прямого сжигания в газовых турбинах. К 2024 году на Нижнекамской ТЭЦ-1 планируется построить газотурбинную установку. углеводородно-водородная смесь, являющаяся отходом нефтехимической промышленности.

Самый эффективный источник энергии являются газотурбинные установки, которые рассматривают для возможных перспектив по использованию и внедрению водородных технологий в республике Татарстан. Многие газотурбинные установки используют единственный вид топлива, поэтому это не выгодно для выбросов в окружающую среду и в сфере экономики. В ближайшем будущем мировые запасы опустеют, а экологические требования и нормы ужесточатся. Принято решение о необходимости повышения эффективности газотурбинных установок с использованием водородных технологий. Одним из методов повышения эффективности ГТУ является добавка к природному газу альтернативный вид топлива [1-3]. Альтернативный виды топлива может повлиять на эффективность оборудования, что скажется на цене электроэнергии как продукта, так и качества. В зависимости от соотношения горючих газов топливный газ имеет разную теплотворную способность, а при сжигании отличаются также и плотность, температура сгорания, что влияет на срок службы ГТУ.

На данный момент основная задача в Татарстане разработка повышения энергетических характеристик ГТУ с добавлением водорода к топливному газу. Так как в Республике крепкая экономическая стабильность, не составит труда быстро модифицировать газотурбинные установки. Для облегчения транспортировки ПАО «КАМАЗ» разрабатывает проект по созданию автомобиля, а также автобус на топливных элементах.



Таким образом, водород — это перспективный энергоноситель, но современные методы производства и эксплуатации не соответствуют долгосрочным экологическим и энергетическим целям. В Татарстане, как одном из наиболее экономически развитых регионах РФ грузовые автомобили уже проектируются автомобили и автобусы на топливных элементах, а также промышленное производство водорода, как чистый, так и загрязненный побочными продуктами. Но производство требует значительного расширения с упором на «зеленый водород» как на самый важный.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA

3. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(6):79-91.

УДК 621.311

## **ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В ГЕНЕРИРУЮЩЕМ КОМПЛЕКСЕ**

А.Р. Кубашев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

almaz\_kubashev22@mail.ru

Импортозамещение в генерирующем комплексе — это политика замены импорта товарами или услугами отечественного производства с целью снижения зависимости от иностранных источников энергии. Эта политика используется во многих странах мира для повышения энергетической безопасности и снижения затрат, связанных с импортом энергии.

**Ключевые слова:** газотурбинная, установка, энергетическая, турбина, импортозамещение.

## IMPORT SUBSTITUTION IN THE GENERATING COMPLEX

A.R. Kubashev  
KSPEU, Kazan, Russia  
almaz\_kubashev22@mail.ru

Import substitution in the generation complex is a policy of replacing imports with domestically produced goods or services in order to reduce dependence on foreign energy sources. This policy is used in many countries around the world to improve energy security and reduce the costs associated with energy imports.

**Keywords:** gas turbine plant, power plant, turbine, import substitution.

Россия является одним из крупнейших в мире производителей энергии с большим разнообразием источников энергии и хорошо развитой инфраструктурой [1-3]. Однако в последние годы страна столкнулась с рядом проблем, связанных с производством энергии, включая возросшую зависимость от импортных источников энергии и отсутствие инвестиций в электроэнергетический комплекс. В ответ российское правительство приняло ряд мер по увеличению внутреннего производства и снижению зависимости страны от зарубежных источников энергии.

Импортозамещение в генерирующем комплексе предполагает замену импортных источников энергии отечественными источниками. Этого можно достичь несколькими способами, такими как использование возобновляемых источников энергии, повышение энергоэффективности и увеличение внутреннего производства источников энергии, таких как уголь и природный газ [4-6].

Импортозамещение в генерирующем комплексе выгодно и по экономическим причинам. Сокращая расходы, связанные с импортом энергии, страны могут сэкономить деньги, которые можно использовать для инвестиций в другие сектора экономики. Кроме того, отечественные производители могут извлечь выгоду из увеличения спроса на свою продукцию, что приведет к увеличению занятости и экономическому росту.

Одной из основных стратегий российского правительства является повышение эффективности энергетического комплекса за счет импортозамещения. Целью этой стратегии является замена импортируемых источников энергии, таких как природный газ и уголь, внутренними источниками энергии, включая атомную, возобновляемую и гидроэлектроэнергию. Российское правительство вложило значительные средства в строительство новых атомных электростанций и модернизацию

существующих, а также в поощрение развития возобновляемых источников энергии, таких как ветер и солнечная энергия. Кроме того, правительство снизило тарифы на импортную энергию, чтобы внутренние источники были более конкурентоспособными.

Ещё одной ключевой мерой, предпринятой российским правительством для укрепления своего энергетического комплекса, стало предоставление льгот компаниям, инвестирующим в отечественное производство энергии. Эти стимулы включают налоговые льготы, гранты и субсидии, которые помогли привлечь иностранные инвестиции. Это позволило стране увеличить внутреннее производство энергии, а также повысить надежность энергосистемы.

Возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, ветер, геотермальная энергия и биомасса, могут использоваться для снижения зависимости от импортируемых источников энергии. Возобновляемые источники энергии обеспечивают как безопасный, так и надежный источник энергии, и часто их можно производить с меньшими затратами, чем импортные источники энергии. Наконец, увеличение внутреннего производства источников энергии, таких как уголь и природный газ, также может быть использовано для снижения зависимости от импортируемых источников энергии. Этого можно достичь за счет инвестиций в отечественные производственные мощности, а также освоения новых источников энергии, таких как природный газ и ядерная энергетика.

Импортозамещение в генерирующем комплексе является важным направлением политики в нынешних условиях. Снижая зависимость от импортируемых источников энергии, страны могут снизить затраты и способствовать развитию своих внутренних энергетических отраслей. Кроме того, использование возобновляемых источников энергии и повышение энергоэффективности могут снизить воздействие на окружающую среду, связанное с производством энергии.

Российское правительство также приняло ряд постановлений для повышения эффективности своего энергетического комплекса. К ним относятся введение стандартов энергоэффективности, достижение целей по сокращению выбросов и продвижение возобновляемых источников энергии. Эти меры способствовали развитию современной и надежной системы производства электроэнергии в России.

### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Обеспечение экономической безопасности государства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 8(65). С. 50-57. EDN LDEVNR.

2. Жилкина Ю.В. Процессы реформирования электроэнергетики в России // Энергетик. 2020. № 1. С. 29-32. EDN UCPRRI.

3. Жилкина Ю.В. Пути повышения экономической безопасности Российской Федерации // Финансовый бизнес. 2010. № 4(147). С. 17-22. EDN RXXOHF.

4. Жилкина Ю.В. Макроэкономические показатели экономической безопасности страны // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 10(67). С. 65-72. EDN LRIQCF.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

6. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

УДК621.3

## **КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ**

А.А.Латыпова<sup>1</sup>, А.А. Абдуллина<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>azaliya.latypova2021@mail.ru, <sup>2</sup>azalkaabdullina69826@gmail.com

В статье рассмотрены замены традиционных автономных источников энергии: ГЭС, ТЭС, АЭС, - на возобновляемые источники энергии: ВЭС, СЭС и другие, - на комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии. Было определено, что они разделяются на 3 вида: автономная ветро-солнечная, сетевая ветро-солнечная, система резервного электроснабжения. Кратко были рассмотрены их принципы работы.

**Ключевые слова:** электроэнергия, комбинированная система, возобновляемые источники энергии.

# COMBINING THE POWER SUPPLY SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

A.A. Latypova<sup>1</sup>, A.A. Abdullina<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>azaliya.latypova2021@mail.ru, <sup>2</sup>azalkaabdullina69826@gmail.com

The article discusses the replacement of traditional autonomous energy sources: Hydroelectric power plants, thermal power plants, nuclear power plants, - ai renewable energy sources: Wind farms, SES and others, - for combined power supply systems based on renewable energy sources. It was determined that they are divided into 3 types: autonomous wind-solar, grid wind-solar, backup power supply system. Their principles of operation were briefly reviewed.

**Keywords:** renewable energy sources, electricity, combined system.

Ежедневно мы используем множество электроприборов и гаджетов: телефон, ноутбук, телевизор, электрическая плита и прочие, - следовательно, электроэнергия является неотъемлемой частью нашей жизни. Для получения энергии могут использовать традиционные автономные источники энергии: гидроэлектростанции (ГЭС), теплоэлектростанции (ТЭС), атомные электростанции (АЭС), - а также возобновляемые источники энергии: энергия ветра (ВЭС), солнечная энергия (СЭС), геотермальная энергия, парниковые газы, а также энергия приливов и отливов [1-3].

Однако использование только традиционных источников энергии наносит большой вред окружающей среде и человеку, так как при сжигании топлива на ТЭС образуется парниковые и углекислые газы, также не исправность АЭС может привести к ужасным последствиям – ядерной аварии, следовательно, к гибели всего живого и уничтожению на пути ее распространения. Также возобновляемые источники энергии имеют свои недостатки: чаще всего они требуют высоких первоначальных затрат на установку, производство, разработку, для их использования нужно соблюдать определенные условия, например, для СЭС – постоянный поток солнечной энергии, для ВЭС – наличие мощного и постоянного ветра, следовательно, в наших реалиях такие установки будут вырабатывать небольшие мощности.

Для решения данных проблем можно использовать комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии. Их выделяют три вида [4-6]:

1) Автономная ветро-солнечная электростанция. Принцип работы данной станции очень прост: солнечные батареи и ветрогенераторы вырабатывают при наличии ветра и солнца электроэнергию, поступающую и накапливаемую в аккумулятор. Также имеется контроллер, управляющий зарядом аккумулятора и ограничивающий ток при полной его зарядке. Далее к контроллеру или к самому аккумулятору уже подключается инвертор – устройство, преобразующее постоянный ток в переменный с напряжением в 220В, а с инвертора энергия уже поступает к потребителю. Для повышения мощности такие станции могут содержать жидкотопливный генератор, одновременно питающий потребителя и подзаряжающий аккумулятор.

2) Сетевая ветро-солнечная электростанция. Принцип работы данной станции заключается в следующем: солнечные батареи и ветрогенератор вырабатывают при наличии ветра и солнца электроэнергию, поступающую также в инвертор и в дальнейшем распределяющуюся между потребителями. При недостаточном количестве вырабатываемой электроэнергии она может поступать из внешней сети.

3) Система резервного электроснабжения. Она представляет собой совокупность источников энергии, обеспечивающих объект электроэнергией как от системы центрального электроснабжения, так и от аварийной, где источниками питания могут служить как аккумуляторные батареи, автономные источники энергии, так и возобновляемые источники энергии.

### **Источники**

1. Автономные системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии и умной сетью / Л.М. Четошникова, Н.И. Смоленцев, С.А. Четошников, Г.В. Гусаров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 5-6. С. 3-10. EDN XWBLVZ.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

5. Петрушенко Ю.Я., Дружинин Г.И., Марченко Г.Н. и др. Некоторые новые подходы к выбору альтернативных возобновляемых источников сырья в производстве тепловой и электрической энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 9-10. С. 73-79. EDNDZAMFH.

6. Paulsen K., Hensel F. Introduction of a new Energy Recovery System—optimized for the combination with renewable energy // Desalination. 2005. Т. 184. №. 1-3. С. 211-215.

УДК 662.613.112; 62-665.9

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ ПИРОЛИЗА ДЛЯ СЖИГАНИЯ**

Е.Е. Лучкина<sup>1</sup>, О.А. Сидоркина<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук Ю.В. Караева

Институт энергетики и перспективных технологий

ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Россия

<sup>1</sup>yekaterina.luchkina@inbox.ru, <sup>2</sup>leylik.sidorkina@mail.ru

Проведена оценка возможности использования твердых углеродистых материалов, полученных в результате пиролиза биомассы, для сжигания. Данные химического состава золы биоугля из рисовой шелухи и древесного биоугля использовались для определения коэффициентов зашлакованности, обрастания, абразивности и коррозии.

**Ключевые слова:** биоуголь, зольность, шлакующие и загрязняющие свойства золы, обрастание.

# USE OF SOLID CARBONACEOUS MATERIALS AFTER PYROLYSIS FOR COMBUSTION

E. E. Luchkina<sup>1</sup>, O. A. Sidorkina<sup>2</sup>

Institute of Power Engineering and Advanced Technologies, FRC Kazan Scientific Center,  
Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

<sup>1</sup>yekaterina.luchkina@inbox.ru, <sup>2</sup>leylik.sidorkina@mail.ru

The possibility of using solid carbonaceous materials from biomass pyrolysis for combustion was assessed. Data on the chemical composition of biochar ash from rice husk and wood biochar were used to determine slagging, fouling, abrasion and corrosion indices.

**Keywords:** biochar, ash, slag and polluting properties of ash, fouling.

В данной работе предпринята попытка оценить твердые углеродистые материалы после пиролиза в качестве топлива, так как эта тема является актуальной [1,2].

Объектами исследования являлись биоуголь из рисовой шелухи (РШ) и древесный биоуголь. Физико-химические свойства биоугля представлены в таблице 1. Данные по химическому составу золы древесного биоугля были взяты из [3], биоугля из РШ из [4]. Проводился рентгенофлуоресцентный анализ (XRF) для определения элементного состава золы биоугля из РШ и древесного биоугля корпорацией LECO (Сент-Джозеф, Мичиган) с использованием анализаторов TRUSPEC-CHN и TRUSPEC-S (LECO).

Таблица 1

Физико-химические свойства биоугля

Параметр	Биоуголь из РШ	Древесный биоуголь
Зольность, мас. %	9,4	13,9
Высшая теплотворная способность, МДж/кг	20,27	22,64
Содержание серы, мас. %	0,11	0,05

Для оценки использования твердых углеродистых материалов в качестве топлива были рассчитаны основные параметры шлакования золы (таблица 2). Формулы для расчета параметров были взяты из [5].



Таблица 2

Параметры шлакования для биоуглей

Параметры шлакования	Биоуголь из РШ	Древесный биоуголь
<b>Коэффициент зашлакованности</b>		
Кислотно-основное соотношение	0,34	4,25
Индекс вязкости шлака	94,99	18,36
Показатель шлакообразования $R_S$	0,04	0,21
$Fe_2O_3$	0,53	2,36
<b>Коэффициент обрастания</b>		
Коэффициент обрастания	0,08	0,25
$Na_2O$ в золе	0,24	0,06
Общее количество щелочей	3,97	1,41
<b>Коэффициент абразивности</b>		
Коэффициент абразивности	3,00	3,28
<b>Коэффициент коррозии</b>		
Общее содержание хлора	1,45	0,03
Отношение S/Cl	0,08	1,67

Биоуголь из РШ обладает низкими значениями кислотно-основного соотношения ( $0,34 < 0,5$ ), древесный биоуголь - высокими ( $4,25 > 0,7$ ). Индекс вязкости шлака у биоугля из РШ входит в допустимый предел ( $94,99 > 72$ ), у древесного биоугля он значительно меньше нижнего предела ( $18,36 < 65$ ). Биоугли имеют невысокие значения показателя шлакообразования  $R_S$  и  $Fe_2O_3$ . Рассмотренные параметры говорят о том, что биоуголь из РШ имеет низкий риск шлакообразования, тогда как древесный биоуголь имеет средний риск шлакообразования.

Коэффициент обрастания не должен превышать единицы. Рассчитанные значения показателя для биоуглей соответствует этому требованию. Биоугли обладают низким содержанием  $Na_2O$  в золе ( $< 2$ ), следовательно, не склонны к зашлаковыванию и обрастанию. Таким образом, биоуголь из РШ и древесный биоуголь имеют низкую склонность к обрастанию. Кроме того, биоугли обладают хорошей абразивной способностью, поскольку значение коэффициента абразивности меньше 4.

Биоуголь из РШ обладает высокой способностью к коррозии (общее содержание хлора больше 0,5, отношение S/Cl меньше 2), древесный биоуголь – средней (общее содержание хлора меньше 0,3, отношение S/Cl меньше 2).

Анализ полученных результатов показал, что использование твердых углеродистых материалов, полученных в результате пиролиза, обеспечивает достаточную эффективность их энергетического использования. Проведена оценка возможности использования биоугля из рисовой шелухи и древесного биоугля в качестве топлива, при этом биоуголь из рисовой шелухи является наиболее оптимальным.

### **Источники**

1. Комплексный метод утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций / Э. Р. Зверева [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. - №2. – С. 14 – 26.
2. Савина М. В. Оценка эффективности парового котла типа ке при сжигании низкосортного топлива / М. В. Савина, Э. Т. Ндлову, Г. Р. Мингалеева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. - №1 (45). – С. 3 – 12.
3. Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems / С. Е. Brewer [et al.] // Environmental progress & sustainable energy. – 2009. – V. 28. – № 3. – P. 386 – 396.
4. Synthesis and characterization of rice husk biochar via hydrothermal carbonization for wastewater treatment and biofuel production / N. Hossain [et al.] // Scientific Reports. – 2020. – №10. – P. 211 – 226.
5. Effectiveness of different additives on slagging and fouling tendencies of blended coal / Haryana // Journal of the Energy Institute. – 2023. - №10. – P. 134 – 148.

УДК 621.311

## **СОЗДАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ МИКРОГЕНЕРАЦИИ В РОССИИ**

Л.В. Маликова

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, профессор Н.И. Москаленко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

leysan.malikova.2003@mail.ru

Рассматривается проблема значимости создания инфраструктуры для электромобилей в эпоху 21 века.

**Ключевые слова:** электромобиль, инфраструктура, создание, энергия.

## CREATING AN INFRASTRUCTURE FOR ELECTRIC VEHICLES TAKING INTO ACCOUNT MICROGENERATION IN RUSSIA

L.V. Malikova  
KSPEU, Kazan, Russia  
leysan.malikova.2003@mail.ru

The problem of the importance of creating an infrastructure for electric vehicles in the era of the 21st century is considered.

**Keywords:** electric car, infrastructure, creation, energy.

В эпоху современного мира активно создаются и улучшаются средства передвижения. Если раньше инновацией стало то, что придумали транспорт на двигателе внутреннего сгорания, то сейчас наука отдает предпочтение двигателям, которые не требуют больших ресурсов затрат для питания.

Ни для кого не секрет, что автомобили, которые работают на ДТ, или на бензине, или на газу приносят неудобства не только в плане ресурсов топлива, которые являются исчерпывающими, но и в плане экологии. В городах, с населением более 1 млн. людей, экологическая система очень страдает. Поэтому, ученые сейчас активно продвигают идею перейти на электромобили, которые являются более экологичными, а также рациональными в плане затрат топлива. Ведь электрическую энергию добыть легче и быстрее, чем природную, а также удобнее хранить и передавать. Сейчас государство активно поддерживает идею перехода на машин, работающих на электродвигателях. Так, например, Министерство экономического развития и компания «Автодор» объявили о запуске эксперимента по бесплатному проезду электромобилей по платным дорогам, который стартует в РФ 1 марта и продлится до конца года, сообщило 17 февраля издание «Коммерсант». Так же стоит отметить, что в таких крупных городах, как Москва, Санкт-Петербург, Казань уже доступны бесплатные парковочные места, а в некоторых регионах и вовсе отменили транспортные налоги или сделали значительную скидку на их уплаты [1-3]. Давайте же разберемся что такое электромобиль и что он из себя представляет. Электромобиль – это автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от независимого источника электроэнергии (аккумуляторов, топливных элементов, конденсаторов и т. п.), а не ДВС. Электромобиль нужно отличать от автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и электрической передачей, а также от троллейбусов и трамваев.

Необходимо учитывать экономическую безопасность России и актуализацию удельных электрических нагрузок [4-6]. 21 ноября 2022 года «Автостат» сообщил о росте продаж новых электромобилей в России на 34 %.

Из этого следует, что в России такие машины начинают пользоваться спросом. Так что же может сделать страна для поддержания таких автолюбителей?

Во-первых, установить больше зарядных станции с портами Chademo (японский стандарт зарядки постоянным током, используется на Nissan Leaf), CCS (европейский стандарт, также постоянный ток) и Type 2 (европейский стандарт, переменный ток). Для этих станции можно разработать приложения для смартфонов, где можно будет узнать где ближайшая станция. Так же, я считаю, было бы очень полезно, если бы люди с телефона могли посмотреть где находятся парковочные места, возможно, с возможностью брони. Так же, для большего удобства, можно внедрить мини зарядную станцию, что бы человек будучи на работе или дома, мог зарядить свою машину, при этом спокойно занимаясь своими делами. Во-вторых, усовершенствовать подачу электроэнергии в непосредственно сам двигатель. В среднем от постоянного тока двигатель заряжается от полу часа до четырех часов. Но проблема в том, что в России передается переменный ток по сетям, и, чтобы зарядить электромобиль, нужно преобразовать переменный ток в постоянный. Во втором случае необходимо улучшить преобразователи переменного тока, чтобы мощность была приблизительнона к 22КВт или более. Конечно, чтобы провести ряд таких реформ в действие нужен именно спрос. Чем больше народ будет заинтересован в покупке таких машин, тем больше государство будет заинтересовано в осуществлении планов. Сейчас же Российское правительство активно продвигают эту идею и предпринимают меры. Так, в 2021 г. правительство Российской Федерации утвердило «Концепцию по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года» Запланировали в течение 2021–2024 гг. наладить производство 25 тыс. электромашин и установку 9400 зарядных установок. Таким образом, мы видим, что создание инфраструктуры для электромобилей в России вполне осуществимо. Больше всего затрат уйдет именно на установки станции и проведения ряд строительных работ.

### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Концепции интернета вещей как способ мотивации к энергосбережению // Электрические станции. 2020. № 2(1063). С. 23-26.

2. Жилкина Ю.В. Обеспечение экономической безопасности государства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 8(65). С. 50-57. EDN LDEVVN.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. EDN MBYUSE.

4. Жилкина Ю.В. Экономическая безопасность России: проблемы ее международно-правового обеспечения в современных условиях // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 14(71). С. 53-65. EDN MQGDLV.

5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

6. Солуянов Ю. И. Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57. EDN LANQDE.

УДК 330.31

## СУЩНОСТЬ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ

И.С. Мердина<sup>1</sup>, И.Н. Маслов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>imerdina@inbox.ru, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

В статье рассмотрена современная концепция циркулярной экономики, выделены два основных подхода. На данный момент не только в России, но и во всем мире происходит переход от обычной линейной экономики к экономике замкнутого цикла. Объяснить данное явление можно значительным ухудшением окружающей среды, а также возможностью вторичной переработки использованных материалов.

**Ключевые слова:** экономика, циркулярная экономика, ресурсы, вторичное использование.

# THE ESSENCE OF THE CIRCULAR ECONOMY

I.S. Merdina<sup>1</sup>, I.N. Maslov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>imerdina@inbox.ru, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

The article examines the modern concept of circular economy, identifies two main approaches. At the moment, not only in Russia, but throughout the world, there is a transition from a conventional linear economy to a closed-loop economy. This phenomenon can be explained by a significant deterioration of the environment, as well as the possibility of recycling of used materials.

**Keywords:** economy, circular economy, resources, secondary use.

Для разработки качественной и эффективной модели, опираясь на которую, будет осуществляться переход страны на циркулярную модель, необходимо знать об основных особенностях данной системы экономики, не исключая и её историю возникновения и становления. Отметим, что первое упоминание о данной системе встречается в научных работах 1960-х годов, вследствие перехода от индустриального общества к постиндустриальному. Концепция циркулярной экономики появляется на стыке двух наук: экология и экономика. Сущность циркулярной экономики заключается в том, что она стремится повторить уже закрытую природную систему, в которой все, что уже было произведено и использовано, полностью подвергается переработке внутри системы, благодаря чему предотвращается возникновение экологических проблем. Главная цель данной формы экономики заключается в обеспечении максимально эффективного результата от каждого процесса в жизненном цикле как товара, так и услуги [1-3]. Циркулярная экономика влияет на распределительную систему, в которой приоритетным ресурсом являются вторичные ресурсы.

Опираясь на зарубежные исследования, можно выделить два подхода:

1. Ресурсно-ориентированный представляет собой замкнутый поток материалов, а также энергии и отходов. Данный процесс может быть реализован за счет вторичного использования самого продукта, компонентов, а также материалов;

2. Экономико-ориентированный, согласно которому циркулярная экономика представляет собой экономическую систему, основанная на

вторичном использовании материалов и сохранении природных ресурсов [1, с 28].

В настоящее время существует множество визуальных моделей циркулярной экономики, но наиболее распространенной и более точно отражающей сущность циркулярной экономики, является модель фонда Эллен МакАртур.

Выделяют три важнейших принципа циркулярной экономики:

1. Сохранить, а также увеличить естественный капитал с помощью грамотного управления организационными запасами, а также балансирования потоков возобновляемых ресурсов;

2. Оптимизация использования ресурсов за счет обращения во времени продуктов, компонентов и материалов наибольшей полезности на всех стадиях технического и биологического циклов;

3. Способствовать развитию эффективности системы за счет выявления негативных внешних факторов и последующего перепроектирования производственной деятельности [4-6].

Таким образом, переход к циркулярной экономике является важным шагом для всего мира. Такая модель экономики, как «приобрести – использовать – выбросить» уже устарела, так как были нарушены пределы ограниченных мировых ресурсов. К сожалению, в настоящее время данная ситуация очень близка к критичной. Именно поэтому и было введено новое понятие, как циркулярная экономика, благодаря которой появляется такая возможность, как восстановление ресурсов не только природных, но и финансовых [7-9].

### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Экономическая безопасность России (оценка внутренних проблем) // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2010. № 3(18). С. 161-168. EDN MVPUJH.

2. Жилкина Ю.В. Развитие электроэнергетики: вертикальная интеграция или дальнейшая либерализация отрасли? // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2(38). С. 106-113. EDN VVXMIS.

3. Zhilkina Y., Vodennikov D., Maslov I. Mechanism of business entities innovative development management (organizational and economic approaches) // E3S Web of Conferences: 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. Vol. 124. Kazan:EDP Sciences, 2019. P. 04019. DOI 10.1051/e3sconf/201912404019. EDN BLAWVN.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на

оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

5. Жилкина Ю. В. Финансовая система и обеспечение экономической безопасности России в условиях санкций // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2018. № 3(50). С. 33-42. EDN YTNSEP.

6. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

7. Жилкина Ю.В. Пути повышения экономической безопасности Российской Федерации // Финансовый бизнес. 2010. № 4(147). С. 17-22. EDN RXXOHF.

8. Жилкина Ю.В. Макроэкономические показатели экономической безопасности страны // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 10(67). С. 65-72. EDN LRIQCF.

9. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р., Добронравов А.Д., Шамсутдинов Э.В. Комплексное использование золошлаковых отходов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 26-36. EDN UYCP TJ.

УДК 621-311.22

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЁРДОГО ТОПЛИВА**

Е.О. Микусов

Науч. рук. д-р техн. Наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mksv2000@gmail.com

В статье приведено исследование процессов внутрицикловой газификации твёрдого топлива, а также рассмотрены преимущества и недостатки использования твёрдого топлива.

**Ключевые слова:** внутрицикловая газификация, твёрдое топливо, газификация угля, газификация твёрдого топлива.



# STUDY OF THE PROCESSES OF INTRACYCLE GASIFICATION OF SOLID FUEL

E.O. Mikusov  
KSPEU, Kazan, Russia  
mksv2000@gmail.com

The article presents a study of the processes of intracycle gasification of solid fuels, as well as the advantages and disadvantages of using solid fuels.

**Keywords:** intracycle gasification, solid fuel, coal gasification, solid fuel gasification.

Внутрицикловая газификация подразумевает собой получение горючего газа посредством сжигания твёрдого топлива, непосредственно происходящее в пределах термодинамического цикла установки по выработке тепловой, электрической или другой энергии.

Основой газификации выступает пиролиз – процесс, в результате которого происходит распад угля на составляющие компоненты – углекислый газ и водород [4]. Существуют различные способы газификации твёрдого топлива, в частности угля.

Одним из таких является метод Лурги – его основа состоит в дутье твёрдого топлива на стационарном слое в пределах давления от 2 до 4 Мпа. Основным недостатком такого способа выступает засорение полученного газа смолистыми примесями и загрязнение фенолами сточной воды, а также низкая интенсивность газификации, хотя данная проблема уже частично может быть решена при помощи метода жидкого шлакоудаления.

Альтернативным способом газификации выступает метод Винклера – представляет собой процесс газификации мелкозернистого угля при давлении атмосферного уровня в кипящем слое с помощью паровоздушного дутья. Данный метод минимизирует образование смолистых примесей газа и позволяет провести более качественный теплообмен, однако обладает ограниченной интенсивностью ввиду сложности устройства и поддержания гидродинамических свойств кипящего слоя в нужном состоянии [2].

Метод Копперс-Тотцека - представляет собой газификацию топлива, в основном пылевидного угля посредством парокислородного дутья при поддержании атмосферного давления, и несмотря на ограниченную интенсивность, результатом выступает отсутствие смол в получаемом газе,

а также фенолов в сточных водах, что преимущественно отличает данный метод от метода Лурги.

Метод Тексако – данный способ делает возможным снижение в дымовых газах оксида серы в 5 раз, и оксидов азота в 10 раз посредством газификации суспензии воды и угля на парокислородном дутье при давлении свыше 4 МПа, но при том обладает рядом определённых недостатков, основным из которых является существенное повышение затрачиваемых ресурсов и высокие потери тепла для поддержания температурного уровня [1]. На сегодняшний момент ведётся активная работа в области плазменных технологий газификации угля в Корейской народной республике, в Японии, Канаде, в корпорации НАСА и в технологическом институте штата Миннесота (США) [3].

Основными преимуществами существующих на сегодняшний день методов являются многократное снижение токсических отходов в атмосферу (в 5, а порой и в 10 раз) и независимость от примесей, содержащихся в угле [6].

Подводя итоги можно обозначить, что экологические, экономические и технологические характеристики их неравноценны. Наиболее освоены в промышленности на данный момент газификаторы Лурги и Винклера, поэтому наиболее часто предпочитается именно их применение, однако низкий уровень интенсивности газификации (2000...3000 кг/м<sup>2</sup>\*ч) не позволяет реализовать их масштабное применение, с другой стороны - уровень отработанности других процессов еще невысок [5]. Поэтому исследования разработки в данной отрасли не теряют своей актуальности и проводятся в настоящее время.

### **Источники**

1. Степанов Г.С. Тенденции развития и новые инженерные решения в газификации угля / С.Г. Степанов // Уголь. 2002.

2. Тарасов В.А. Высокоэффективная технология переработки твердых органических и неорганических отходов / В.А. Тарасов, В.Г. Ковалев, Ю.Ю. Петелин // Сб. науч. тр. «Известия ГЭТУ». 1997.

3. Тарасов В.А. Возможности повышения энергоэффективности рудовосстановительных процессов за счет использования энергетического потенциала шихтовых материалов / В.А. Тарасов // Вестник Чувашского университета. 2006.

4. Розенберг В.Л. Рудовосстановительные электропечи. Энергетические показатели и очистка газов / В.Л. Розенберг, А.Ю. Вальберг. М.: Энергия, 1994. 103 с.

5. Рысс М.А. Производство ферросплавов / М.А. Рысс. М.: Металлургия, 1985. 393 с.

6. Степанов Г.С. Тенденции развития и новые инженерные решения в газификации угля / С.Г. Степанов // Уголь. 2002. № 11

УДК 621-311.22

## **РАСЧЁТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ОСНОВАНИИ ФАКТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Е.О. Микусов

Науч. рук. канд. техн. наук А.Р. Ахметшин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mksv2000@gmail.com

В статье рассмотрена проблема низкой эффективности энергетических исследований на основании существующих методик, а также обоснована актуальность внедрения инновационных решений с целью повышения точности расчёта энергетических нагрузок.

**Ключевые слова:** энергетические нагрузки, тепловые сети, фактические измерения, энергетические исследования.

## **CALCULATION OF ENERGY LOADS BASED ON ACTUAL MEASUREMENTS**

E.O. Mikusov

KSPEU, Kazan, Russia

mksv2000@gmail.com

The article deals with the problem of low efficiency of energy research based on existing methods, and also substantiates the relevance of introducing innovative solutions in order to improve the accuracy of calculating energy loads.

**Keywords:** energy loads, heat networks, actual measurements, energy research.

В настоящие дни в России основной и наиболее приоритетной задачей является энергосбережение и наиболее эффективное использование имеющихся ресурсов, большую роль в этом играют климатические условия умеренной широты, следовательно, большинство усилий направлено в сторону снижения затрат на теплоснабжение.

При расчётах и исследованиях принято за правило брать средние данные по периодам отопления, а также приблизительные значения периодов отпуска тепла для удобства расчёта ввиду проблематичной установки значений высокой точности [2].

К таким параметрам относят такие значения за определённые интервалы как:

1. Приближённые периоды часовых отпусков тепла  $O_{Ti}$ , МВт (Гкал/ч);
2. Температуры воды в подающем трубопроводе и обратном соответственно,  $T1_j$  и  $T2_j$ , °С;
3. Расход подпиточной воды  $G_{y_i}$ , т/ч (кг/с);
4. Температура холодной подпиточной воды,  $t_{x_j}$ , °С;
5. Температура наружного воздуха,  $t_{n_i}$ , °С.

Температура грунта, как правило, также используется со средним значением за взятый период, но в некоторых случаях можно использовать в расчётах её средние значения за всё время, когда расхождения между периодическими значениями не принципиальны.

При использовании:

- 1) Расчётная температура наружного воздуха для проектирования отопления,  $t^n$ , °С;
- 2) Расчётная температура воздуха в отапливаемых помещениях,  $t^p$ , °С.

Во время проведения энергетических обследований, ввиду отсутствия определённых показателей нагрузок, чаще всего используют показатели, называемые «договорными», чаще всего такие показатели являются завышенными на 10-15%, поэтому вопрос выбора оптимальных показателей пока остаётся открытым [3]. В целом, необходимо усовершенствование методологической базы с целью повышения точности проводимых исследований и расчётов. Нагрузки, взятые из договоров по теплоснабжению, тоже могут использоваться ввиду отсутствия альтернативных методов.

Величины данных нагрузок, как правило, определяются двумя основными методами согласно существующим методическим пособиям по теплоснабжению [1]. Первый метод, который наиболее часто используют, основывается на аппроксимации известных показателей отпуска тепловой энергии с помощью метода наименьших квадратов, а также экстраполяции полученной в результате зависимости на величину температуры наружного воздуха.

Второй часто используемый метод подразумевает использование наиболее реально достижимого значения нагрузки за прошедший период также с экстраполяцией результата на расчетную наружную температуру.

Предполагается, что основная проблема существующих методов заключается в возможном несоответствии величин отпускаемого тепла и реальных потребностей потребителя. При высоких показателях расхода воды в тепловых сетях, а также при высокой наружной температуре возникает проблема избыточного расхода тепловой энергии, а при низких показателях данных величин возникает явная недостача отпуска тепловой энергии потребителям. Помимо этого не хватает механизма регулирования качества подачи тепловой энергии на протяжении всего отопительного периода, а это безусловно является важным фактором при проведении любых энергетических исследований.

Мероприятия, проводимые по известным на сегодняшний день методикам, не позволяют достичь необходимой точности и эффективности показателей расчётных величин этих нагрузок.

Предлагаемые методические подходы на основе требуемых и взятых с высокой точностью параметров позволят повысить эффективность оценки суммарных расчетных нагрузок в отношении тепловых сетей потребителей, помимо этого они должны сопровождаться объективным анализом фактических режимов отпуска отопительного тепла, а также тепловой энергии, поступающей на горячее водоснабжение.

### **Источники**

1. Степанов Г.С. Тенденции развития и новые инженерные решения в газификации угля / С.Г. Степанов // Уголь. 2002.
2. Тарасов В.А. Высокоэффективная технология переработки твердых органических и неорганических отходов / В.А. Тарасов, В.Г. Ковалев, Ю.Ю. Петелин // Сб. науч. тр. «Известия ГЭТУ». 1997.
3. Тарасов В.А. Возможности повышения энергоэффективности рудовосстановительных процессов за счет использования энергетического потенциала шихтовых материалов / В.А. Тарасов // Вестник Чувашского университета. 2006.

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД

Н.Р. Мингазов

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

niyaz-kazan01@mail.ru

В процессе развития ГТД камеры сгорания претерпевали значительные изменения в связи с повышением требований к ним, такие как постоянно растущее внимание к выбросам вредных веществ в окружающую среду, в связи с этим актуальна тема по обеспечению низкого уровня загрязнения. Также немаловажным является высокая эффективность КС ГТУ и возможность расширенного диапазона применяемых видов топлива. При этом ставится упор на снижение стоимости, куда входит стоимость изготовления, ремонта, технической эксплуатации, и увеличение жизненного цикла установки.

**Ключевые слова:** камера сгорания, тенденции развития, характеристики.

## TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBERS

N.R. Mingazov

KSPEU, Kazan, Russia

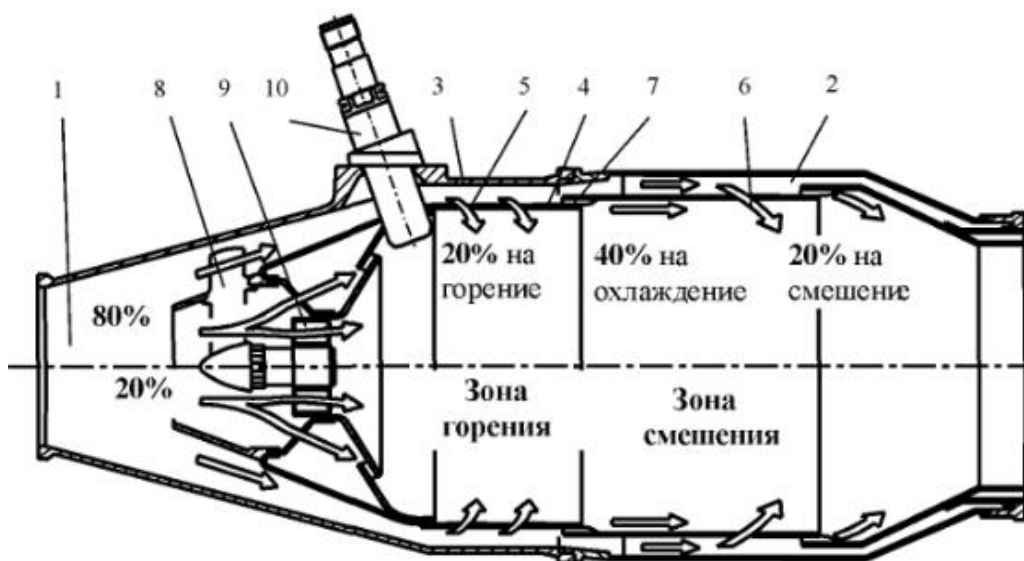
niyaz-kazan01@mail.ru

During the development of the gas turbine combustion chambers have undergone significant changes due to increased requirements for them, such as the ever-increasing attention to emissions of harmful substances into the environment in this regard, the topic of ensuring a low level of pollution is relevant. Also important is the high efficiency of the CS GTU and the possibility of an expanded range of fuel types used. At the same time, emphasis is placed on reducing the cost, which includes the cost of manufacturing, repair, technical operation, and increasing the life cycle of the installation.

**Keywords:** combustion chamber, development trends, characteristics.

Развитие камер сгорания происходило от прямого цилиндрического канала с впрыском и срабатыванием топлива, соединяющего компрессор с турбиной до КС с диффузором для падения скорости потока, зоной обратных токов и подводом избыточной части воздуха за зоной горения,

где перемешиваясь снижает температуру до приемлемой для турбинного уровня рисунке.



Общая схема и распределение воздуха в КС: 1 -диффузор; 2 -кольцевой канал; 3 - наружный кожух; 4 -пламенная труба; 5 -отверстия зоны горения; 6 -отверстия зоны смешения; 7 -отверстия охлаждения; 8 -форсунки; 9 -фронтное устройство; 10 - воспламеняющее устройство [1].

Такой конструктивный вариант с переменной геометрией и двумя зонами горения позволяет увеличить полноту сгорания, снизить уровень выбросов в атмосферу и увеличить долговечность пламенной трубы [2].

Таким образом можно представить принцип развития рабочего процесса в КС наиболее распространенной и успешной схемы. Стоит понимать, что существует множество вариаций данной схемы, но все они имеют общие элементы, показанные на рисунке.

Совершенствование КС проводится в след за потребным ростом мощностей газовой турбины. В связи с тенденцией увеличения температуры и давления перед турбиной с одновременным уменьшением объёма камеры сгорания для снижения количества применяемых материалов и соответственно стоимости, увеличилась теплонапряженность в корпусах. На данный момент применяются жаропрочные сплавы на основе никеля и кобальта.

Также стоит отметить, что температуры в пламенной трубе составляет 1400 К и более, в связи с чем сама конструкция сделана из интерметаллидов и композиционных материалов на основе керамики, помимо этого на внутреннюю поверхности наносят керамическое покрытие или же керамические плитки. Данные технологии позволяют снизить расход охлаждающего воздуха и коэффициент избытка подаваемого воздуха.

В качестве порошковых керамических покрытий применяют сплавы на основе двуоксида циркония ( $ZrO_2 + 5-9\% Y_2O_3$ ) и оксида магния ( $MgO$ ), на поверхность детали предварительно наносят соединительный жаростойкий подслоя в основном на основе Ni, Cr, Al и Y [3].

В направлении создания малоэмиссионных КС стоит отметить гибкие автоматизированные системы управления, позволяющие контролировать выбросы, как правило по дымовым газам за турбиной.

Таким образом можно проследить тенденции развития в улучшении геометрии и применении новых материалов.

### **Источники**

1. Мустейкис А.И. Моделирование процессов в камере сгорания ГТД: учебное пособие / А.И. Мустейкис. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. — 34 с.

2. Генбач А.А. Пути повышения эффективности охлаждения камер сгорания и сопел ГТУ / А.А. Генбач, Д.Ю. Бондарцев, И.К. Илиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. — 2021. — Т. 13, № 3(51). — С. 114-134.

3. Бычков Н.Г. Оценка напряженного состояния теплозащитного покрытия столбчатой структуры на сопловых лопатках турбин и сегментах жаровых труб камер сгорания с учетом сил трения между керамическим слоем и газодинамическим потоком / Н.Г. Бычков, А.Ш. Хамидуллин, А.В. Першин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). — 2011. — № 3-2(27). — С. 253-258.

УДК 534.131

## **АНАЛИЗ СВОБОДНЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ANSYS**

В. Д. Минеева

Науч. рук. канд. физ-мат. наук О.В. Клейдман

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lera.mineeva2001@yandex.ru

Построена расчетная схема метода конечных элементов (МКЭ) на примере подогревателя высокого давления для анализа свободных и вынужденных колебаний, резонансных явлений. Получены результаты для изотропных и ортотропных свойств материала.

**Ключевые слова:** МКЭ, НДС, ортотропные материалы, колебания, ANSYS.



# ANALYSIS OF FREE AND FORCED VIBRATIONS OF A HIGH-PRESSURE HEATER DEPENDING ON THE PROPERTIES OF THE MATERIAL BASED ON ANSYS

V. D. Mineeva

KSPEU, Kazan, Russia

lera.mineeva2001@yandex.ru

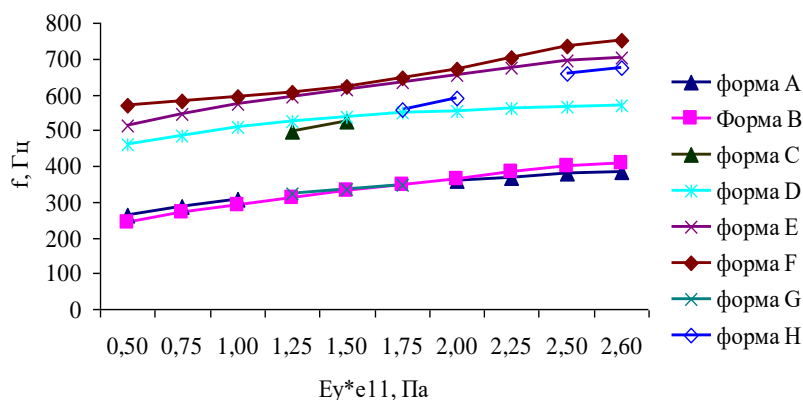
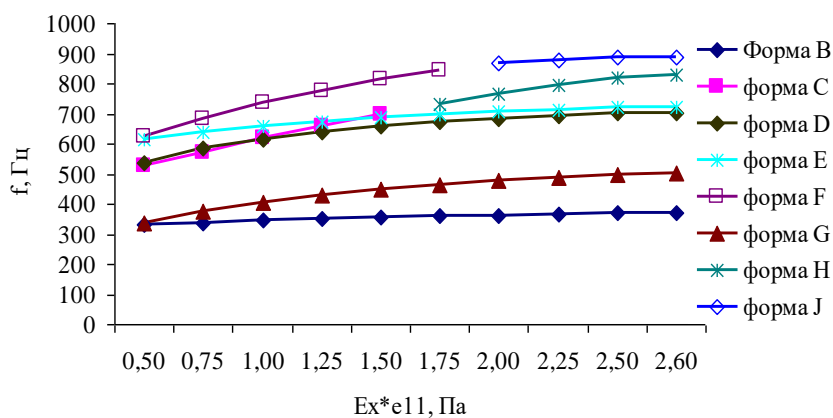
A calculation scheme of the finite element method (FEM) is constructed on the example of a high-pressure heater for the analysis of free and forced oscillations, resonance phenomena. Results are obtained for isotropic and orthotropic properties of the material.

**Keywords:** FEM, SSS, orthotropic materials, vibrations, ANSYS.

Большинство аварий и катастроф на энергетических предприятиях связаны с разрушительным действием вибрации. По заключению Государственной инспекции Росэнергонадзора причиной аварий, кроме технической (резонанс или усталостное разрушение), является человеческий фактор – слабые знания персонала. Намеченный в настоящее время курс на модернизацию оборудования и импортозамещение зарубежной продукции потребует, прежде всего, более высокого уровня подготовки инженерно-технических кадров. Механика деформирования и разрушения твердых тел с учётом колебаний является областью эффективного применения МКЭ [1]. Изменение геометрических параметров модели, наличие неоднородностей значительно влияют на частоты свободных колебаний [2]. Увеличение прочности и уменьшение массы неоднородных корпусов сосудов высокого давления, широко используемых в энергетике, по сравнению с цельнометаллическими корпусами достигается армированием высокомодульными волокнами, ориентируя их в продольном и поперечном направлениях. В расчетах композиционные материалы моделируются свойствами ортотропии. В последние годы происходит быстрый рост производства искусственных композитов [3].

Рассмотрено поведение элементов конструкций подогревателя высокого давления из изотропных и ортотропных материалов при свободных и вынужденных колебаниях. Получены формы и частоты колебаний неоднородных элементов их корпуса при различных геометрических параметрах на основе метода конечных элементов в программе ANSYS. При увеличении модуля упругости в окружном и

продольном направлении значение частоты свободных колебаний для разных форм возрастает (см. рисунок).



Зависимость частоты свободных колебаний от модуля упругости

Вынужденные колебания происходят под действием переменных во времени внешних сил и возможны при работе насоса, электродвигателя, периодичном спуске или закачке газа. Применяя модальный анализ в ППП ANSYS, колебательный процесс возбуждается силой  $F = F_o \cos(\omega t)$ , приложенной в зоне входа, выхода газа, где  $F_o$  - максимальное значение силы,  $\omega$  - циклическая частота колебаний,  $t$  - время.

Резонанс возникает при совпадении собственных и вынужденных частот и возможен при резком увеличении скорости пара из отбора турбины с плохим креплением внутренних трубок, при совпадении частот колебаний турбины с частотами колебаний ПВД с плохим креплением корпуса.

При рассмотрении различных форм свободных колебаний выявлена зона с наибольшим перемещением, для которой при исследовании вынужденных колебаний построен график, показывающий при какой частоте вынуждающей силы возникают резонансные явления. Нелинейное

решение учитывает 50 шагов по диапазону частот. Для найденных резонансных частот проведён анализ НДС исследуемых моделей. При варьировании значением  $F_0$ , определена предельная сила, для которой интенсивность напряжений больше допустимой, и соответствующий резонансный всплеск становится опасным, приводит к разрушению [4] Знание резонансных значений частоты колебаний и соответствующих предельных нагрузок помогает предотвратить разрушение установок во время работы.

### **Источники**

1. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е., Ульябаева Ш.У. Анализ результатов численного моделирования колебательных процессов в бездефектных и дефектных трубопроводах // Вестник КГЭУ. 2022. Т. 14. № 3 (55). С. 38-47.

2. Владимиров О.В., Загретдинов А.Р., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Исследование влияния дефектов на собственные частоты колебаний деталей энергетических установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015;(5-6):66-74.

3. Соловьев С.А., Соловьева О.В., Ахметова И.Г., Ваньков Ю.В., Шакурова Р.З. Численное исследование теплопроводности композитного теплоизоляционного материала с микрогранулами // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022;24(1):86-98.

4. Кушнаренко В.М., Чирков Ю.А., Клещарева Г.А., Решетов С.Ю. Причины преждевременного разрушения теплообменных труб энергетического оборудования // Вестник КГЭУ. 2021. № 1 (49). С. 75-84

УДК 621.313.3

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

А.С. Миннуллина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aygull.minnullina@gmail.com

В данной работе представлены изменения в системе перспективного планирования в области энергетики в республике Татарстан. Отображено развитие энергосистемы и наличие возможных ограничений в строительстве энергетических сооружений в условиях реальных обстоятельств.

**Ключевые слова:** перспективное планирование, развитие энергосистемы, ограничения в строительстве.

# PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE ENERGY INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN IN MODERN CONDITIONS

A.S. Minnullina  
KSPEU, Kazan, Russia  
aygull.minnullina@gmail.com

This paper presents changes in the system of long-term planning in the field of energy in the Republic of Tatarstan. The development of the energy system and the presence of possible restrictions in the construction of energy facilities under real circumstances are displayed.

**Keywords:** long-term planning, development of the energy system, restrictions in construction.

На сегодняшний день отражается стремительное развитие энергетической отрасли в Республике Татарстан. Однако ситуация в экономике, вызванная некоторыми ограничительными мерами, всё же сказалась на энергетической отрасли, которая обеспечивает жилые дома, предприятия светом и теплом [1-3]. Несмотря на это, планируется создание самых масштабных проектов в энергосистеме Республики Татарстан [4-6].

Энергосистема Республики Татарстана занимает пятое место среди региональных энергосистем страны по абсолютному приросту потребления в 2022 году. К началу 2023 года мощность энергосистемы Татарстана выросла до 8589 МВт- 24,3%. По итогам 2022 года выработка электроэнергии достигла до 28132,1 млн кВт\*ч. В 2022-м году «Татэнерго» было вынуждено остановить проект модернизации Заинской ГРЭС, которая является самой мощной Электростанцией в Татарстане (2204,9 МВт и 145 Гкал/ч). На данном проекте предполагалось использование газовых турбин иностранного производства, но американская компания General Electric отказала «Татэнерго» в поставке оборудования в Заинск из-за санкций [5]. Также возможны риски поломки оборудования и их ремонта на трёх Казанских ТЭЦ, где стоят турбины от американской компании General Electric [3-7].

Итальянская компания Enel в 2019 году выиграла квоту на строительство ветропарка в Ставрополе, позже перенесённая в Чистопольский район Татарстана. Весной проект был заморожен, как и Заинская ГРЭС.

Сложности с поставкой насосов и компрессоров сложились на КОСе. Компания Siemens отказывается от сотрудничества по экономическим причинам. Мощности энергосистемы республики Татарстан составляют 8 094 мегаватта, что 11 % приходится на иностранные оборудования [8, 9].

Независимо от экономических обстоятельств в дальнейшем планируется модернизация генерирующего оборудования АО «Татэнерго», АО «ТГК-16» и ООО «Нижекамская ТЭЦ». В 2024 г. предполагается работа ТЭС мусоросжигательного завода мощностью 55 МВт. К 2025 году завершится реконструкция подстанции 550 кВ Бугульма, полная реконструкция подстанции 220 кВ Тойма-2 с внедрением дистанционного управления электросетевым оборудованием и устройствам РЗА.

Таким образом, на данный момент сохраняется темп экономического роста в республике Татарстан с учетом введённых ограничений. Некоторые проекты были заморожены, однако количество удачных и развивающихся проектов в области энергетики значительно больше.

#### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Макроэкономические показатели экономической безопасности страны // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 10(67). С. 65-72. EDN LRIQCF.
2. Жилкина Ю.В. Процессы реформирования электроэнергетики в России // Энергетик. 2020. № 1. С. 29-32. EDN UCPRRI.
3. Жилкина Ю.В. Обеспечение экономической безопасности государства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 8(65). С. 50-57. EDN LDEVVN.
4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.
5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.
6. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

7. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

8. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.

9. Соловьев И.С., Валиев Р.И., Нугманов Д.Ф. и др. Применение мобильных мини-ТЭЦ с ГТУ как важный фактор освоения труднодоступных территорий России // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 172-175. EDN ERBLBC.

УДК 622.279

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В ТЕХНОЛОГИИ ПО ДОБЫЧЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Д.А. Муругов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.В. Титов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

danil.murugov@mail.ru

Данная статья направлена на рассмотрение процесса добычи природного газа, который служит основным топливом во многих предприятиях. Проведено исследование по эффективности использования газотурбинных установок в технологии добычи рассматриваемого топлива.

**Ключевые слова:** природный газ, компрессорная станция, газотурбинная установка, газовые скважины, добыча.

# THE USE OF GAS TURBINE PLANTS IN NATURAL GAS PRODUCTION TECHNOLOGY

D.A. Murugov  
KSPEU, Kazan, Russia  
danil.murugov@mail.ru

This article is aimed at reviewing the process of natural gas production, which serves as the main fuel in many enterprises. A study was carried out on the efficiency of the use of gas turbine plants in the technology of extraction of the fuel in question.

**Keywords:** natural gas, compressor station, gas-tube plant, gas wells, production.

Газотурбинная установка (ГТУ) является одним из основных источников выработки электрической энергии. Основным топливом большинства ГТУ является природный газ, отсюда особую актуальность приобретает исследование добычи природного газа и упрощение этого процесса [1].

Схематичный процесс добычи продукта на газовых скважинах изображен на рисунке.

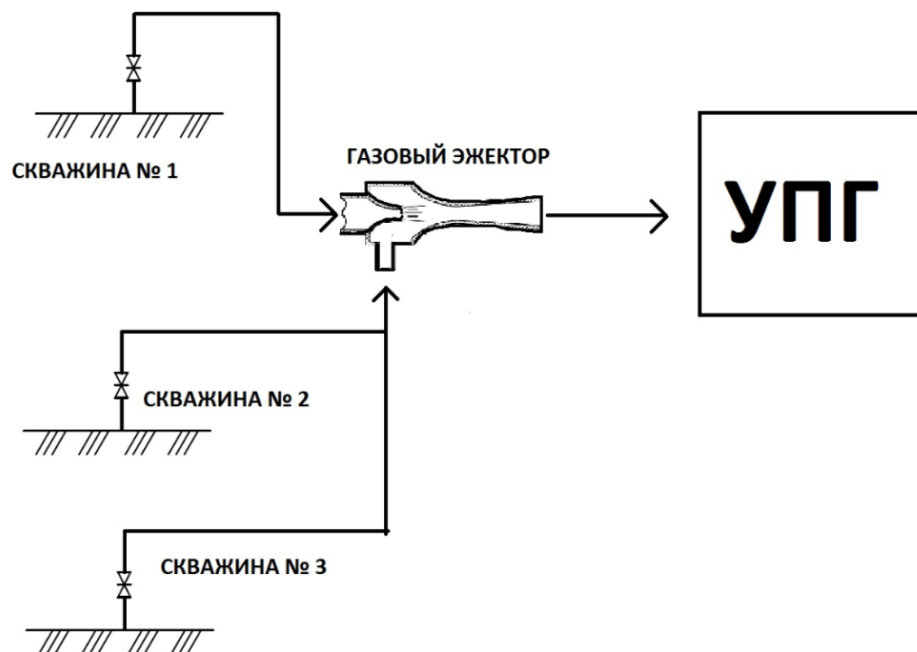


Схема куста газовой скважины

Куст включает в себя три газовые скважины, линию напора скважин, специальное факельное хозяйство куста и газопроводы, которые объединяют все элементы.

Добываемое топливо из всех источников сбрасывается в общий коллектор, далее через специализированную компрессорную станцию попадает в общую магистраль [2].

Важно регулировать давление в коллекторе так чтобы в низконапорном источнике давление газа было выше. Газовый эжектор в схеме служит для понижения давления на устьях скважин 2 и 3, используя избыточное давление в 1 скважине.

Газотурбинную установку на месторождении можно использовать в качестве компрессорных станций. Благодаря высокой энергоемкости и автономности применение ГТУ на компрессорных станциях обладает большой перспективой [3]. Если использовать в качестве топлива ГТУ транспортируемый газ зависимость от внешних поставщиков исчезает. Оснащение котлами-утилизаторами и установка паровой турбины даст возможность выработки тепловой и электрической энергии для компрессорных станций и близлежащих поселков.

Помимо выше перечисленных факторов, CO<sub>2</sub> из отработавших газов газотурбинной установки может способствовать улучшению эффективности добычи газа на месторождениях. Углекислый газ закачивается в пласты под землю, за счет своей плотности он буквально выталкивает полезное ископаемое [4].

Таким образом, использование газотурбинных установок в технологии по добыче природного газа имеет много положительных факторов. В дальнейшем планируется рассматривать эту тематику более углубленно.

### **Источники**

1. Кусков Г.В., Савенок О.В., Оливейра Ж.Г., Жару Н.Ж. Анализ обустройства вынгаяхинского нефтегазового месторождения // Отраслевые научные и прикладные исследования: Науки о земле. 2017. № 11. С. 89-110.
2. Ярунин С.Н. Автоматизированная система повышения энергоэффективности и надежности работы компрессорной станции // Газотранспортные системы: настоящее и будущее. 2019. № 5. С. 61.
3. Рудаченко А.В., Чухарева Н.В. Газотурбинные установки для транспорта природного газа: учебное пособие // Издательство Томского политехнического университета. Томск, 2012. 213 с.
4. Yunpei Liang, Youting Tan, Yongjiang Luo, Yangyang Zhang, Bo Li. Progress and challenges on gas production from natural gas hydrate-bearing sediment // Journal of Cleaner Production. 2020. V. 261. P.156



## ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Р.Р. Мустафин<sup>1</sup>, И.Н. Нурмухамметов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>rishatmustafin@icloud.com, <sup>2</sup>nurmuhammetovin@mail.ru

В статье приведены преимущества цифровых технологий в теплоэнергетике, перспективы развития цифровизации топливно-энергетического комплекса. Технические и экономические аспекты информационных технологий в тепловых электростанциях.

**Ключевые слова:** цифровизация, промышленность, тепловая электростанция, интеллектуальные системы управления, цифровые технологии.

## DIGITALIZATION IN THERMAL POWER PLANTS

R.R. Mustafin <sup>1</sup>, I.N. Nurmukhammetov <sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>rishatmustafin@icloud.com, <sup>2</sup>nurmuhammetovin@mail.ru

The article presents the advantages of digital technologies in the thermal power industry, the prospects for the development of digitalization of the fuel and energy complex. Technical and economic aspects of information technology in thermal power plants.

**Keywords:** digitalization, industry, thermal power plant, intelligent control systems, digital technologies.

Цифровизация стала неотъемлемой частью развития современной энергетической отрасли. Она позволяет компаниям работать более эффективно, оптимизировать производственные процессы, снизить издержки и предоставлять более качественные услуги для конечных потребителей. Новые технологии помогают снизить риски и повысить эффективность во всех аспектах энергетической отрасли.

Тепловые электростанции являются важным источником энергии, используемой для обеспечения потребностей промышленности и населения в электроэнергии. Однако, с появлением новых технологий, возникает необходимость в улучшении эффективности и надежности

тепловых электростанций. Цифровизация является необходимым шагом для повышения эффективности и надежности работы.

Цель статьи на тему цифровизации в тепловых электростанциях заключается в изучении преимуществ, связанных с внедрением цифровых технологий на тепловых электростанциях и оценке их влияния на эффективность и надежность работы.

Процесс производства электроэнергии на ТЭС начинается со сжигания топлива (обычно это каменный уголь, мазут, природный газ или ядерное топливо) в котле, который преобразует химическую энергию топлива в процессе горения в тепловую. Пар, образованный в котле, заставляет вращаться турбину, приводя в движение ротор генератора, который преобразует механическую энергию в электрическую [1].

Цифровизация в тепловых электростанциях позволяет повысить эффективность работы, улучшить управление системами, снизить затраты и негативное воздействие на окружающую среду.

Внедрение цифровых технологий на тепловых электростанциях имеет как технические, так и экономические аспекты. Автоматизация и оптимизация позволяют управлять процессами на ТЭС более точно и эффективно, снижая риски сбоев и аварий, повышая производительность и качество электроэнергии. Системы мониторинга и управления позволяют операторам следить за состоянием оборудования и проводить ремонтные работы до того, как произойдут сбои, что уменьшает расходы на техническое обслуживание и ремонт, из-за этого увеличивается надежность и долговечность оборудования [2].

Цифровые технологии позволяют операторам быстро реагировать на любые изменения в процессе производства электроэнергии и предотвращать аварийные ситуации, что снижает риски для персонала и оборудования. Оптимизация процессов производства электроэнергии позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, что приводит к уменьшению воздействия на окружающую среду.

Новые системы управления и контроля, анализа данных и оптимизации процессов позволяют сократить расходы на производство электроэнергии и увеличить его объем. Цифровизация помогает снизить затраты на обслуживание оборудования и прогнозировать его возможные поломки. Мониторинг системы может помочь выявить проблемы и устранить их до того, как они приведут к остановке работы оборудования.

Информационные технологии могут помочь снизить риски, связанные с нештатными ситуациями и авариями. Управление рисками

становится более эффективным благодаря возможности быстрого реагирования на аварийные ситуации [3].

Существует множество примеров успешной реализации цифровых технологий на тепловых электростанциях. Тепловая электростанция Scholven в Германии была модернизирована с использованием компьютерных технологий. Благодаря установке нового цифрового оборудования удалось повысить эффективность работы станции и снизить выбросы вредных веществ. Китайская компания Harbin Electric внедрила систему мониторинга и диагностики на своей тепловой электростанции. Это позволило оперативно выявлять проблемы в работе оборудования и проводить их ремонт до возникновения серьезных последствий.

В России компания «БГК» внедрила цифровую систему управления на своей тепловой электростанции. Благодаря этому снизились расходы на производство электроэнергии и повысились показатели производительности.

Цифровизация на тепловых электростанциях может принести значительные преимущества, однако для ее успешного внедрения необходимо разработать комплексную стратегию и преодолеть ряд проблем, связанных с этим процессом.

### **Источники**

1. Трухний А.Д. Основы современной энергетики в 2 т. Том 1. Современная теплоэнергетика : учебник для вузов. С. 38–49.
2. Васильева О.А. Новый стандарт функциональности в промышленной автоматизации: интеллектуальные приборы VINOM3 // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2015. № 12 (77). С. 27–34.
3. Попов М.Г., Васильева О.А., Асаинов Д.Н. Опыт внедрения цифровых технологий на ТЭЦ на базе многофункциональных измерительных приборов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25, № 3. С. 47–58. DOI: 10.18721/JEST.25303

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГИБРИДНОЙ МИНИ-ТЭС НА БИОТОПЛИВЕ С ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

М.Ф. Набиуллина

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

madinanabiullina@yandex.ru

Предложена гибридная схема мини-ТЭС на биотопливе с параллельным подключением ветроэнергетической установки. Исследована работа данной установки в соответствии с годовым графиком потребления энергии фермерским хозяйством.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, энергия ветра, гибридные энергетические систем, мини-ТЭС.

## STUDY OF THE OPERATION OF A HYBRID MINI-CHP ON BIOFUEL WITH A WIND POWER PLANT

M.F. Nabiullina

KSPEU, Kazan, Russia

madinanabiullina@yandex.ru

A hybrid scheme of a mini-thermal power plant on biofuel with parallel connection of a wind power plant is proposed. The operation of this installation was studied in accordance with the annual schedule of energy consumption by the farm.

**Keywords:** renewable energy sources, wind energy, hybrid energy systems, mini-thermal power plants.

Сочетание гарантированного и нестабильного энергоисточника позволяет построить универсальные энергокомплексы с технико-экономическими характеристиками, надежно обеспечивающими энергоснабжение различных децентрализованных объектов[1].

Системы выработки энергии на биомассе могли бы дополнять друг друга, принимая во внимание их различные свойства в плане надежности по сравнению с системами ветроэнергетики. Его основные проблемы связаны с доступностью топлива и его хранением, но, как только эти проблемы решаются, энергия может быть представлена по запросу до максимального уровня установки на биомассе. Таким образом, система на

биомассе обеспечивает резервную выработку энергии, необходимой ветропарку для покрытия возможных несоответствий между прогнозируемыми и реальными значениями его выходной мощности. Чтобы оптимизировать использование установки на биомассе, она должна быть установлена на территории ветропарка и работать все время для производства электроэнергии [2].

На рисунке 1 представлена схема гибридной мини-ТЭС на биотопливе с параллельным подключением ветроэнергетической установки.

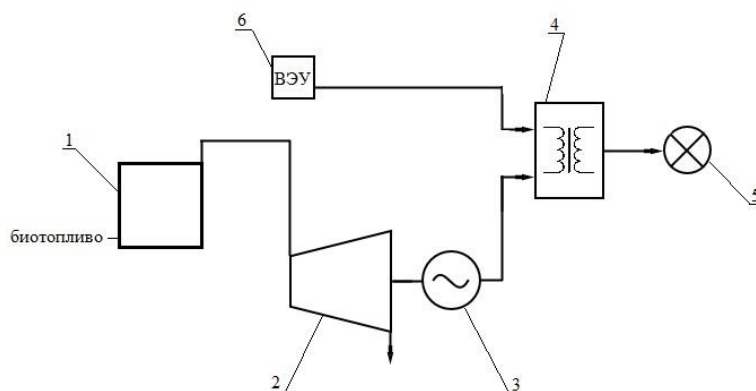


Рис. 1. Схема гибридной мини-ТЭС на биотопливе и ВЭУ: 1 – котел на биотопливе, 2 – паровая турбина, 3 – электрогенератор, 4 – трансформатор, 5 – потребитель, 6 – ВЭУ

В ранних работах были рассчитаны параметры работы котла мини-ТЭС на биотопливе (в качестве топлива используется лузга подсолнечника). По данным ветромониторинга в Республике Татарстан рассчитаем выработку электроэнергии ветроэнергетическими установками (табл. 1.) [3, 4].

Таблица 1

Расчет характеристик ветроэнергетической установки (ВЭУ)

Месяц	Средняя скорость ветра в Камско-Устьинском районе РТ, м/с	Мощность установки, кВт	Кол-во электроэнергии, МВт·ч
Январь	3,8	19,24	7,16
Февраль	2,9	13,67	4,59
Март	4,5	11,03	4,10
Апрель	4,4	5,97	2,15
Май	4,9	8,24	3,07
Июнь	4,5	6,39	2,30
Июль	5,9	14,39	5,35
Август	5,2	9,85	3,67

Сентябрь	6,1	15,91	5,73
Октябрь	7,1	25,08	9,33
Ноябрь	6,5	19,24	6,93
Декабрь	5,1	9,30	3,46
ИТОГО	6,2	158,32	57,83

В данной работе представлен энергетический комплекс с двумя энергоисточниками, каждый из которых способен покрывать в определенные временные интервалы потребности энергетической нагрузки объекта. Основным источником электроэнергии является котел на биотопливе. На рисунке 2 представлен годовой график выработки энергии гибридной мини-ТЭС для потребления фермерским хозяйством.

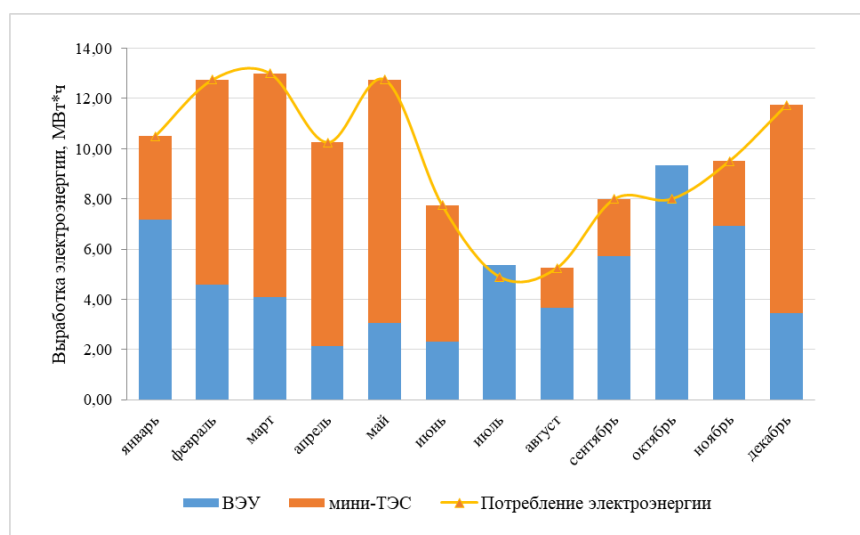


Рис. 2. Годовой график выработки и потребления электроэнергии

В период высокого потенциала ветроустановки сокращается время работы мини-ТЭС, что обеспечивает экономию биотоплива.

### Источники

1. Системы энергоснабжения ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. -Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. 128 с.
2. A. Pérez-Navarro, D. Alfonso, C. Álvarez, F. Ibáñez, C. Sánchez, I. Segura, Hybridbiomass-wind power plant for reliable energy generation, RenewableEnergy, Volume 35, Issue 7, 2010, Pages 1436-1443.
3. Насырова Е.В., Тимербаев Н.Ф., Леухина О.В., Мазаров И.Ю. Анализ данных ветромониторинга в Республике Татарстан. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019;21(6):39-50.

4. Расчет ветроэнергетической установки для условий Красноярского края: метод. указания к выполнению самостоятельной работы [Электронный ресурс] / А.В. Бастрон, А.В. Чебодаев; Краснояр. гос. аграр. ун-т, Ачинский ф-л. – Красноярск, 2016. – 28 с.

УДК 621.438

## **СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК И ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК МОЩНОСТЬЮ 10 МВт**

А.А. Насибуллин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

artyr1120@yandex.ru

В статье проводится сравнительный анализ применения газотурбинных установок мощностью 10 МВт с газопоршневыми установками 10 МВт для энергоснабжения по их характеристикам. Когенерационные установки будут сравниваться по таким критериям, как эксплуатационные затраты, снабжение топливом, особенности размещения энергообъектов, ценовые факторы.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, газопоршневая установка, когенерационная установка.

## **COMPARISON OF THE CHARACTERISTICS GAS TURBINE PLANTS AND GAS PISTON PLANTS WITH A CAPACITY OF 10 MW**

A.A. Nasibullin

KSPEU, Kazan, Russia

artyr1120@yandex.ru

The article provides a comparative analysis of the use of gas turbine plants with a capacity of 10 MW with gas piston plants of 10 MW for power supply according to their characteristics. Cogeneration plants will be compared according to criteria such as operating costs, fuel supply, location of power facilities, price factors.

**Keywords:** gas turbine plant, gas piston plant, cogeneration plant.

Все более актуальна становится проблема уменьшения потерь на производство, транспортировку и потребление тепловой и электрической энергии [1], вследствие с ограничением количества добываемого органического топлива. Когенерационная установка-это одна из наиболее энергоэффективных технологий [2-4], так как в ней для получения тепловой и электрической энергии используется первичный источник энергии-газ [2, 5-7].

Далее в таблице будут приведены сравнительные характеристики ГТУ ГТЭ-10ПК и ГПУ 20V35\44G.

Таблица

Характеристики ГТУ и ГПУ

Параметры	ГТЭ-10ПК	20V35\44G
Особенности размещения	Меньшая площадь под установку	Большая площадь под установку
Экологичность	Высокая	Высокая
Затраты на обслуживание	Низкие	Низкие, так как предлагается сервисный центр.
Ценовые факторы	Невысокая себестоимость ГТУ обеспечена за счет ее использования из серийно выпускаемых деталей и узлов для Д-30КУ/КП.	Электростанции с ГПУ из-за высокого коэффициента использования топлива и низкого уровня эмиссии сокращают общую стоимость владения.
Наработка на отказ	Не менее 100 тыс. часов	40-100 тыс. часов
Коэффициент использования топлива, %	83,7	Достигает до 90
Тепловой КПД с когенерацией, %	До 80%	До 84%
Электрический КПД, %	28	47,2
Эксплуатационная надежность	Базовые для разработки данного ГТУ двигатели Д-30КУ/КП являются одними из самых надежных в истории Российского авиапрома. Комплектующие детали и узлы ГТУ выполняются на основе разработанных ранее конструкций по заказу ОАО «Газпром».	Двигатель 35/44G оснащен системой безопасности и управления SaCoSone, гарантирующей надежную работу двигателя в оптимальном рабочем диапазоне между детонацией и пропуском зажигания. Двигатель имеет индивидуальную регулировку цилиндров.



Таким образом, у обеих установок есть собственные преимущества, например, зависимость газотурбинных установок от температуры окружающей среды. При весомерном повышении температуры окружающей среды мощность газотурбинной установки падает, и наоборот [5-7]. Также можно отметить, что газопоршневые установки уступают газотурбинным установкам по уровню выбросов NOx. К тому же газопоршневые установки при работе имеют вибрацию и низкочастотный шум, но их можно снизить до минимума дополнительными глушителями.

### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Развитие электроэнергетики: вертикальная интеграция или дальнейшая либерализация отрасли? // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2(38). С. 106-113. EDN VVXMIS.

2. Титов А.В., Осипов Б.М. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 4(36). С. 17-21. EDN XPHWDB.

3. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOVB.

4. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.

5. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Инструментальная среда исследования газотурбинных установок // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 1. С. 22-25. EDN KPSXOT.

6. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

7. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.

## ЭКОЛОГИЧНОСТЬ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

А.А. Наумова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.В. Титов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

angelina\_naumova00@mail.ru

В статье рассматриваются экологические проблемы, возникающие при эксплуатации камеры сгорания в составе газотурбинной установки. Представлены возможные способы повышения экологичности камеры сгорания.

**Ключевые слова:** камера сгорания, экологичность, топливо-воздушная смесь, температура, оксид азота, оксид углерода.

## ENVIRONMENTAL FRIENDLY OF THE COMBUSTION CHAMBER OF A GAS TURBINE PLANT

A.A. Naumova

KSPEU, Kazan, Russia

angelina\_naumova00@mail.ru

The article deals with environmental problems that arise during the operation of the combustion chamber as part of a gas turbine plant. Possible ways to improve the environmental friendliness of the combustion chamber are presented.

**Keywords:** combustion chamber, environmental friendliness, fuel-air mixture, temperature, nitrogen oxide, carbon monoxide.

Помимо требований, касающихся производительности камеры сгорания, в последние десятилетия остро поднимается вопрос улучшения ее экологических характеристик. Это связано, в первую очередь, с проблемой вредных выбросов оксида азота и углерода.

Одной из основных проблем энергетики является создание камеры сгорания, которая отвечала бы всем технологическим требованиям, при этом обеспечивающая минимальное количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу [1].

Основные трудности, с которыми сталкивается современная энергетика при эксплуатации камер сгорания:

1. Центробежные форсунки, используемые в традиционных конструкциях камер сгорания, не могут обеспечить высокий уровень полноты сгорания топлива. Такая проблема может возникнуть из-за плохого качества смесеобразования.

2. Традиционные конструкции камер сгорания обладают достаточно высоким гидравлическим сопротивлением, что приводит к большим потерям энергии газа, что, в свою очередь, снижает КПД камеры сгорания и уменьшают ее экологичность.

3. В зоне горения камеры сгорания (в зоне факела), высокие температуры способствуют образованию высоких концентраций вредных радикалов оксида азота. При этом попытки уменьшить температуры газа с целью уменьшения концентров оксида азота приводят к повышению удельного расхода топлива, а значит и к уменьшению КПД всей ГТУ.

4. Неравномерность потока в камере сгорания, то есть неравномерное распределение температур и давления радиусу и окружности на входе в сопловой аппарат турбины. В таких условиях экологические показатели продуктов сгорания существенно ухудшаются [2].

Однако существуют некоторые способы повышения экологичности камеры сгорания путем снижения выбросов оксида азота и окиси углерода за камерой сгорания. Для этого могут быть полезны следующие мероприятия:

1. Увеличение коэффициента избытка воздуха в зоне горения. Дополнительная масса воздуха способствует уменьшению температур в зоне горения и сокращению времени пребывания газов в ней, в результате чего должен уменьшиться выход оксида азота.

2. Улучшение распыливания топлива и смешения его с воздухом, которое может быть достигнуто введением в зону горения гомогенной топливовоздушной смеси. Из-за уменьшения времени пребывания в зоне высоких температур уменьшается и выход оксида азота.

3. Впрыскивание воды или пара, либо использование топливоводяной смеси приводит к охлаждению зоны горения. Таким образом можно уменьшить выхода оксидов азота до 20-30%.

4. Введение специальных присадок в топливо, препятствующих образованию оксидов азота. Присадки способствуют распаду оксидов азота на исходные вещества и снижают температуру пламени. Так, например, добавление 0,3% кобальта или меди может уменьшить эмиссию оксидов азота на 20-25%.

Стоит учитывать, что максимальный эффект снижения выбросов оксида при использовании описанных методов достигается при равномерном подводе воздуха к горелкам камеры сгорания, то есть должен

быть соблюден одинаковый расход в каждую из горелок и равномерное распределение воздуха в регистре. Этого возможно достичь правильной компоновкой встроенных камер сгорания в корпусе ГТУ или вынесением жаровой трубы отдельной камеры сгорания в ее наружном корпусе [3].

Большой объем корпуса может стать выравнивающим скорости устройством, а роль сопловых аппаратов, формирующих поле скоростей воздуха перед зоной горения в жаровой трубе могут выполнять регистры горелок с конфузорным входом и завихрителями.

Наиболее простым способом эти требования выполняются при радиальной компоновке встроенных камер сгорания [4].

### **Источники**

1. Ахметова Р.В., Звонарева Ю.Н., Шорохов И.Р. Разработка и исследование энергоэффективных методов сжигания газового топлива в энергетических системах // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. №1 (53). С. 13-23.

2. Шигапов А.Б. «Стационарные газотурбинные установки тепловых электрических станций» Казань. Изд.: КГЭУ, 2006. 316 с.

3. Росляков П.А. «Расчет камеры сгорания газотурбинной установки». Москва. Изд: МЭИ, 2015. 92 с.

4. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. «Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций». Москва. Изд.: МЭИ, 2002. 584 с.

УДК 621.311

## **СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

С.И. Наумова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

naumovaa04@mail.ru

В статье представлены наиболее эффективные электротехнические материалы, их свойства, отличительные особенности и преимущества, на основании которых можно сделать вывод о выгоде их использования для передачи электроэнергии.

**Ключевые слова:** электроэнергия, материал, проводник, медь, алюминий, сталь.

# MODERN MATERIALS FOR POWER TRANSMISSION LINES

S.I. Naumova  
KSPEU, Kazan, Russia  
naumovaa04@mail.ru

The article presents the most effective electrical materials, their properties, distinctive features and advantages, on the basis of which it can be concluded about the benefits of their use for the transmission of electricity.

**Keywords:** electricity, material, conductor, copper, aluminum, steel.

Сегодня электричество является самым удобным видом энергетических ресурсов [1, 2]. Его отличие заключается в том, что после выработки оно быстро доставляется потребителю и сразу используется.

Передача электроэнергии, в большинстве случаев, осуществляется по проводам, которые называются проводниками. Они передают электроэнергию от генерирующих станций к подстанциям, обеспечивающих электроэнергией потребителей.

Проводник – это материал, в составе которого есть достаточное количество свободных электрических зарядов, которые под действием электрического поля способны перемещаться.

Все проводники электрического тока обладают такими показателями, как:

- сопротивление;
- электропроводность.

Металл за счёт своих отличительных свойств признан самым лучшим проводником электрического тока [3-5]. Чтобы материал был хорошим проводником, электричество, которое проходит через него, должно перемещать электроны. Проводимость металла зависит от количества свободных электронов в нём, чем больше их, тем выше проводимость.

Медь, алюминий и сталь являются часто используемыми проводящими материалами.

Медь была самым подходящим проводником для электрических целей на протяжении длительного времени. Её электрические, механические свойства и экономическая выгода сделали этот металл почти универсальным. Проводимость меди высокая и уступает только серебру и некоторым другим металлам.

Используются три формы меди: твердотянутая; среднетвердотянутая; мягкотяннутая.

Твердотянутая медная проволока обладает самой высокой прочностью и используется для цепей передачи с большими пролетами. Но её упругость и негибкость замедляют работу. Мягкотянутая проволока является самой слабой. Её использование ограничено короткими пролетами и для привязки проводников к штыревым изоляторам. Она с легкостью гнется и с ней проще работать, поэтому мягкотянутый провод обширно используется для обслуживания зданий и некоторых распределительных сетей. Практика была направлена на увеличение протяженности распределительных цепей и использование медной проволоки средней жесткости.

Алюминий имеет легкий вес, который составляет меньше 1/3 веса меди. Алюминий на 60–80% так же хорошо проводит электрический ток, как и медь, и наполовину такой же прочный. Именно поэтому он почти никогда не используется отдельно, исключая короткие дистанции.

Стальная проволока редко используется отдельно. Но там, где требуется очень дешевое строительство, сталь экономически выгоднее. Стальная проволока в 3–5 раз прочнее медной, поэтому она обеспечивает более длинные пролеты и требует меньшего количества опор. Однако сталь является лишь примерно на 1/10 таким же хорошим проводником, как медь, и она быстро начинает ржаветь.

Основными недостатками стали являются недостаточная прочность и электропроводность. Однако сталь дешевая, прочная и доступная [6].

Эти преимущества сделали разработку стальной проволоки, покрытой медью или алюминием. Для получения в стальной проволоке необходимой проводимости и долговечности на ее внешнюю поверхность наносится медное покрытие. Проводимость такой стальной проволоки можно увеличить за счет медного или алюминиевого покрытия. Этот вид проволоки используют в качестве проводника на сельских линиях.

Электричество является захватывающим явлением. Проводники - мосты для электричества. Без них было бы невозможно использовать электроэнергию так, как мы делаем это в настоящее время.

### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Развитие электроэнергетики: вертикальная интеграция или дальнейшая либерализация отрасли? // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2(38). С. 106-113. EDN VVXMIS.

2. Жилкина Ю.В. Экономическая безопасность России (оценка внутренних проблем) // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2010. № 3(18). С. 161-168. EDN MVPUJH.

3. Зубричев, И. В. Однопроводная передача электроэнергии / И. В. Зубричев, М. С. Коровченко, Д. Ю. Рязанов // Исследование путей совершенствования научно-технического потенциала общества в стратегическом периоде: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Магнитогорск, 27 мая 2022 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2022. – С. 20-22. – EDN VKEEEY.

4. Заев Н.Е., Авраменко С.В., Лисин В.Н. Измерение тока проводимости, возбуждаемого поляризационным током. Журнал русской физической мысли. 1991. №2. С 56-61.

5. Стребков Д.С. Высокотемпературная квазисверхпроводимость проводников для ёмкостных токов. Доклады РАСХН, №4, 2005 г. С. 56-58.

6. Клименко К.А., Ксендзов И.В., Холмов М.А. и др. Обзор аморфных сплавов и проблемы их применения в электроэнергетике // Актуальные вопросы энергетики: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Омск, 25–27 мая 2022 года / Редколлегия: П.А. Батраков (отв. ред.) [и др.]. – Омск: Омский государственный технический университет, 2022. – С. 93-98. – EDN NYBVZG.

УДК 621.438

## **ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГТУ ТИПА НК-16-18 СТ**

М.С. Новоселова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А. В. Титов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nova-mara0607@list.ru

На выбор оборудования электростанций оказывает значительное влияние его способность к работе на различных режимах и погодных условиях, свойственных территории. Для этого была создана математическая модель турбины типа НК-16-18 СТ в АС ГРЭТ. В тексте приводятся результаты исследования эксплуатационных характеристик в зависимости от изменения параметров работы турбины и условий окружающей среды.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, НК-16-18СТ, характеристики.

## EVALUATION OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF GTU TYPE NK-16-18 ST

M.S. Novoselova  
KSPEU, Kazan, Russia  
nova-mara0607@list.ru

The choice of power station equipment is significantly influenced by its ability to operate in various modes and weather conditions peculiar to the territory. For this purpose, a mathematical model of a turbine of the NK-16-18 ST type in the AS GRET was created. The text presents the results of a study of operational characteristics depending on changes in turbine operation parameters and environmental conditions.

**Keywords:** gas turbine unit, NK-16-18 ST, characteristics.

Газотурбинная установка типа НК-16-18 СТ одновальная, состоит из входного устройства, компрессоров низкого и высокого давления, камеры сгорания, турбины низкого и высокого давления, силовой турбины, электрогенератора и выходного устройства.

Исходными данными для расчета принимались следующие технические характеристики:

- Частота вращения – 3950 об/мин;
- Расход воздуха (принимается в расчете постоянным) – 102 кг/с;
- Электрическая мощность при номинальном режиме – 18 МВт;
- Температура в камере сгорания при номинальном режиме – 1147 К;
- Степени сжатия в компрессоре низкого и высокого давления соответственно – 2,542 и 4,052.

Для определения связи эксплуатационных характеристик, которыми являются эффективный КПД, удельный и суммарный часовой расходы топлива, с регулируемыми параметрами установки (температуры сгорания топлива или электрической нагрузки) или с параметрами внешней среды (температура окружающей среды) была создана математическая модель в программном пакете АС ГРЭТ [1, 2]. В результате расчета были выявлены следующие зависимости показателей:

1. Вследствие уменьшения электрической нагрузки ГТУ от 18 МВт до 14 МВт значительно уменьшается суммарный часовой расход топлива (с 5761 до 4830 кг/ч), менее значительно снижаются температура в камере сгорания (со значения 1173 до 1089 К) и на выходе из ГТУ (с 739 до 680 К). Влияние изменения мощности ГТУ на ее КПД показано на рис. 1.



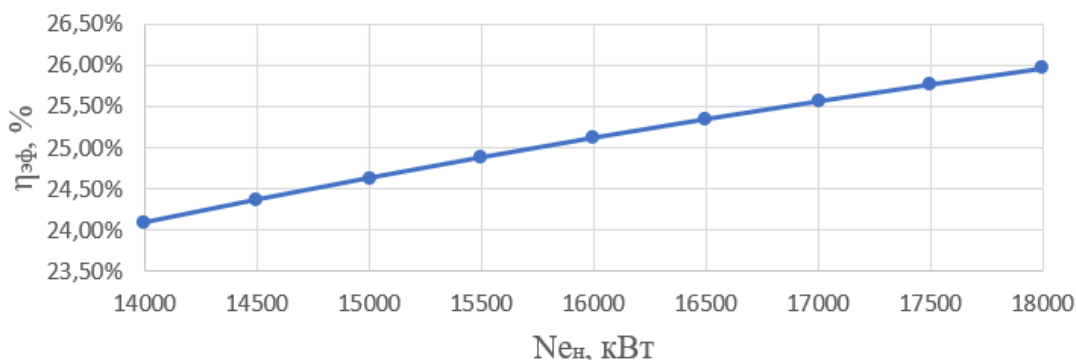


Рис. 1. Зависимость эффективного КПД от изменения мощности ГТУ

2. При изменении температуры в камере сгорания (рис. 2) в диапазоне [1000;1250] видна тенденция к снижению расхода топлива с 6630 до 3864 кг/с и температуры за турбиной с 793 до 619 К.

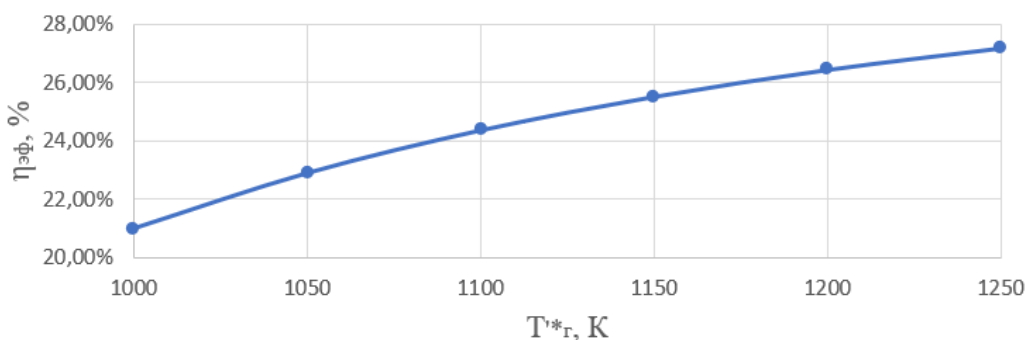


Рис. 2. Зависимость эффективного КПД от изменения температуры горения в камере сгорания

3. Увеличение температуры окружающего воздуха с  $-35$  до  $+35$  °С при постоянном атмосферном давлении незначительно уменьшает температуру газа за турбиной со значения 722 К на 3 К, однако значительно снижает электрическую мощность ГТУ (на 8,3 МВт), что также видно и на зависимости эффективного КПД от температуры забираемого из атмосферы воздуха (рис. 3). Также уменьшается суммарный часовой расход топлива со значения 6446 до 5078 кг/ч.

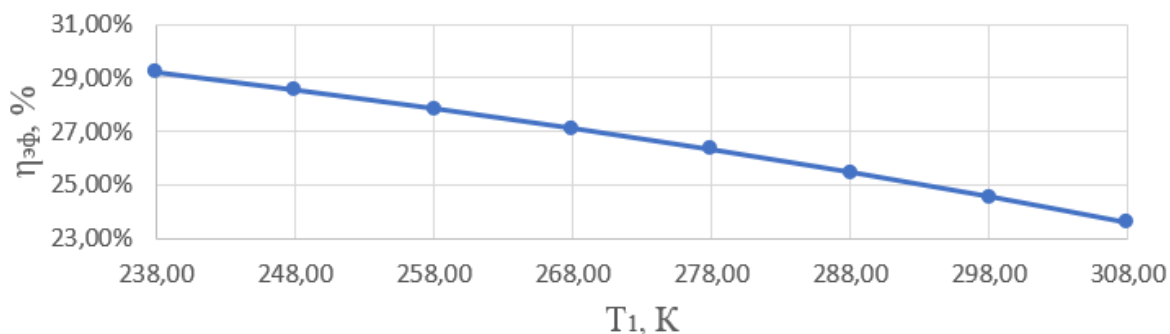


Рис. 3. Зависимость эффективного КПД от изменения температуры атмосферного воздуха

Из вышеперечисленного видно, что основные эксплуатационные характеристики не принимают критических значений при падении нагрузки с 18 до 14 МВт и варьировании температуры в камере сгорания на 100-150 °С от номинальной, а также в диапазоне температуры окружающей среды  $[-35; +35]$  °С. Также можно сделать вывод, что при заданных условиях ГТУ работает достаточно эффективно.

### Источники

1. Осипов, Б. М. Цифровое моделирование термодинамических процессов энергетических турбомашин // Развитие цифровой экономики как одно из приоритетных направлений "стратегии-2030 Республики Татарстан": Казань, 22 мая 2018 года. – Казань: КГЭУ, 2018. – С. 44-48.

2. Титов, А. В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2017. – № 2(34). – С. 43-49.

УДК 621.438

## СОВРЕМЕННЫЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ

Т.Р. Нуриев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nuriev.timurka@bk.ru

В статье рассмотрены состав современных газотурбинных установок, принципы их работы и отличительные свойства, на основании которых можно сделать вывод о выгоде использования для генерации электрической и тепловой энергии.

**Ключевые слова:** газотурбинные установки, циклы, энергетика, электричество, тепло.

## MODERN GAS TURBINE INSTALLATIONS

T.R. Nuriev  
KSPEU, Kazan, Russia  
nuriev.timurka@bk.ru

The article considers the composition of modern gas turbine installations, the principles of their operation and distinctive properties, on the basis of which it can be concluded about the benefits of using electric and thermal energy for generation.

**Keywords:** gas turbine installations, cycles, energy, electricity, heat.

Современная энергетика России является одной из важнейших сфер экономики страны, так как фактически ни одно производство не обходится без потребления электрической и тепловой энергии [1-3]. Для того, чтобы генерировать электричество и тепло используют газотурбинные установки, которые одинаково хорошо работают как для производственных, так и для бытовых объектов назначения [4, 5].

Целью исследования является изучение устройства современных газотурбинных установок, принципов их работы, а также перспективы их дальнейшего применения.

Для достижения поставленной цели необходимо: Разобрать состав современных газотурбинных установок; Рассмотреть особенности их компонентов.

Современные газотурбинные установки состоят из воздушного компрессора, камеры сгорания, газовой турбины, а также из дополнительных систем, которые обеспечивают работу установки. В отличие от паротурбинных установок, у которых котел является отдельным источником тепла, у газотурбинных установок камера сгорания является незаменимым компонентом. Также газотурбинные установки разнообразнее, чем паротурбинные [6].

Схема современной газотурбинной установки представлена на рисунке.

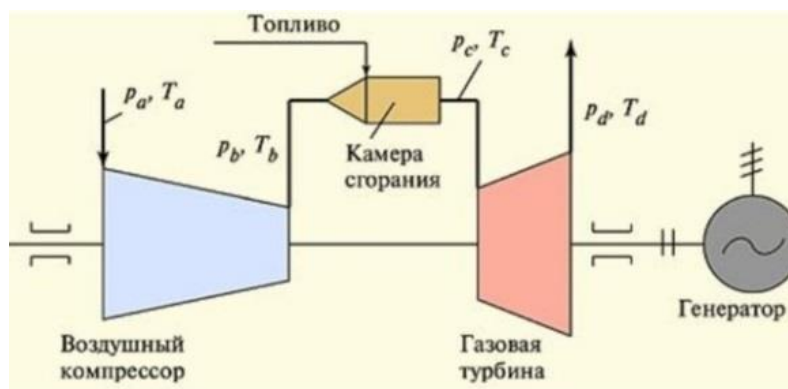


Схема Газотурбинной Установки

На рисунке показано, что оборудование состоит из двух главных компонентов: газовая турбины и генератора, которые размещены в одном блоке. Принцип работы газотурбинной установки достаточно прост: после перегорания топлива образуется газ, который начинает способствовать вращению лопастей. Крутящий момент ведет к появлению электричества, а выходящие газы способствуют парообразованию в котле – утилизаторе. Работа газотурбинной установки выполняется с замкнутым и разомкнутым циклом работы. В замкнутом цикле происходит подача газа в теплообменник через компрессор, с дальнейшим его попаданием в газовую турбину, где происходит расширение газа. После этого газы попадают в холодильную камеру, а далее тепло попадает во внешнюю среду. После чего газ отправляется в компрессор и цикл происходит заново.

Замкнутые циклы сегодня в энергетике не имеют широкого распространения, вследствие низкого значения КПД и высоких потерь.

При разомкнутом цикле компрессор осуществляет подачу воздуха из окружающей среды, который при высоком давлении попадает в специально предназначенную камеру сгорания.

К минусам разомкнутого цикла относят высокую температуру топлива, которая превышает 2000 градусов, что приводит к повреждению металла самой камеры. Для предотвращения необходима чрезмерная подача воздуха примерно в 5 раз, что позволит снизить температуру газа и защитить металл.

Помимо вышесказанного, газотурбинные установки имеют следующие преимущества: Относительная экологичность, поскольку вред окружающей среде незначителен; Компактность, которая позволяет работать установкам на небольших площадках, что также приводит к экономии денежных средств; Незначительный уровень шума и вибрации (80-85 дБА); Работа на различном топливе, что также экономит деньги. Минимальная нагрузка при работе; Высокое качество работы и ее

длительная продолжительность порядка 200 000 часов. Работа при любой погоде; Небольшие затраты на строительство, работу и обслуживание установок.

Перечисленные выше особенности газотурбинных установок позволяют с уверенностью говорить о том, что они еще долгое время будут использоваться в различных сферах производства, вследствие своей экономической выгоды и работы, которая не приносит физического дискомфорта.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

3. Афанасьева, О. В. Мингалеева Г.Р. Перспективы развития малой энергетики на твердом топливе в Республике Татарстан // Энергетика Татарстана. 2011. № 3(23). С. 12-16. EDN OJMGBH.

4. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

5. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Титов А.В., Гафуров Н.М. Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок // Энергетика Татарстана. 2015. № 3(39). С. 20-25. EDN UJZEYR.

6. Афанасьева О.В., Галькеева А.А., Вафин А.Р., Мингалеева Г.Р. Региональные аспекты использования угля на объектах малой распределенной энергетики // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 85-93. EDN YPSXVG.

## О ПРЕЕМСТВЕННОСТИ В ИЗУЧЕНИИ ОСНОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В ШКОЛЬНОМ ПРЕДМЕТЕ «ФИЗИКА» И ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА» В ВУЗЕ

И.Н. Нурмухамметов<sup>1</sup>, Л.Ш. Хакимуллина<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Л.Ш. Хакимуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nurmuhammetovin@mail.ru, <sup>2</sup>hakimullina.lara@yandex.ru

В настоящей статье обсуждается проблема преемственности в изучении механики в школьном курсе физики и теоретической механики в вузе. На примере типовой механической задачи ЕГЭ 2023 по физике [1] показано, что упрощенный подход к решению задач механики без использования аппарата высшей математики приводит к ошибочным результатам.

**Ключевые слова:** теоретическая механика, ЕГЭ по физике, типовые задачи механики.

## CONTINUITY IN THE STUDY OF THE FOUNDATIONS OF THEORETICAL MECHANICS IN THE SCHOOL SUBJECT "PHYSICS" AND THE DISCIPLINE "THEORETICAL MECHANICS" AT THE UNIVERSITY

I.N. Nurmukhammetov<sup>1</sup>, L.S. Khakimullina<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>nurmuhammetovin@mail.ru, <sup>2</sup>hakimullina.lara@yandex.ru

This article discusses the problem of continuity in the study of mechanics in the school course of physics and theoretical mechanics in higher education. On the example of a typical mechanical problem of the USE 2023 in physics [1] it is shown that the simplified approach to the solution of mechanic's problems without using the apparatus of higher mathematics leads to erroneous results.

**Keywords:** theoretical mechanics, USE in physics, typical problems of mechanics.

Опросы показывают, что студенты считают теоретическую механику одной из самых трудных дисциплин [2]. Это связано, в первую очередь с тем, что теоретическая механика является абстрактной наукой, оперирующей с математическими моделями реальных объектов. Первые

шаги в изучении теоретической механики делаются в школе при изучении предмета «Физика» и здесь должна быть преемственность. По мнению автора книг «Популярная физика»<sup>1</sup> и «Физика. Полный курс», 2010 г. известного американского физика Джея Орира [3] в преподавании физики для колледжей необходимо применять «метод основных принципов», т.е. изучать основные законы физики, которых, в принципе немного и они достаточно просто с помощью элементарной математики формулируются и больше времени уделять объяснениям, не расширяя самого предмета. Попытки в российских школах с одной стороны упростить, а с другой расширить изучаемый материал, не подкрепленные хорошими знаниями высшей математики, могут привести к ошибкам в изучении раздела физики в школе, касающегося теоретической механики. Например, в книге серии «ФИПИ-ШКОЛЕ» от разработчиков КИМ ЕГЭ, которое содержит 30 типовых экзаменационных вариантов, соответствующих проекту демоверсии ЕГЭ 2023 года приводится механическая задача [1, стр. 208], в которой исследуется равномерное вращательное движение невесомого стержня с прикрепленным на конце шариком массой  $m$  (рис. 1).

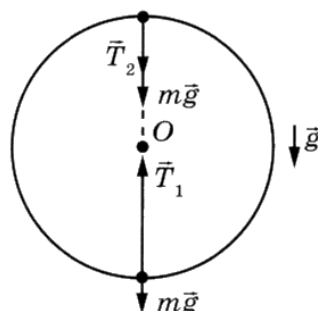


Рис.1. Схема приложения сил к шарiku в верхнем и нижнем положении

Механическая система движется в вертикальной плоскости с периодом вращения  $\tau = 0,2$  с. Задана разность модулей сил, с которыми стержень радиуса  $\ell = 20$  см. действует на шарик в нижней и в верхней точках траектории, равная  $\Delta T = 0,4$  Н. Необходимо определить силу  $T$ , с которой стержень действует на шарик в нижней точке траектории. В

---

<sup>1</sup>В предисловии Джей Орир пишет, что «Эта книга <...> обязана своим появлением достижениям Советского Союза, запустившего первый искусственный спутник земли <...> Внезапно многим стало ясно, что высшее образование в США находится в неудовлетворительном состоянии <...> Советский спутник безусловно, послужил толчком к возникновению нового направления в преподавании науки в Соединенных Штатах».

решении задачи применен второй закон Ньютона отдельно для верхнего и нижнего положений шарика: 
$$\begin{cases} ma_y = T_1 - mg \\ ma_y = T_2 + mg \end{cases} \quad (1), \quad \text{где } a_y = \omega^2 \ell \quad \text{—}$$

центростремительное ускорение шарика. Воспользовавшись условием равномерного вращения системы и подставляя в уравнения (1) угловую скорость  $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$  и массу шарика  $m = \frac{\Delta T}{2g}$ , получено

$$T_1 = m(\omega^2 \ell + g) = \frac{\Delta T}{2g} \left( \frac{4\pi^2 \ell}{\tau^2} + g \right) \approx 4,1 \text{ Н.}$$

Уже сама постановка задачи не верна. Шарик, принимаемый за материальную точку, под действием указанных в задаче сил не может двигаться равномерно. Докажем это. Отбросим невесомый стержень и заменим его действие на материальную точку  $M$  реакцией стержня  $\vec{T}$ , направленной вдоль невесомого стержня (рис. 2).

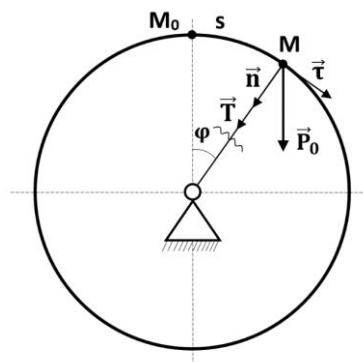


Рис. 2. Текущее положение шарика в естественных осях.

На материальную точку также действует сила тяжести  $\vec{P} = m\vec{g}$ . Введем естественную систему координат  $M\vec{\tau}\vec{n}$ , где  $M$  – текущее положение материальной точки, определяемое дугой  $s$ ,  $\vec{\tau}$  и  $\vec{n}$  – единичные орты траектории точки. Примем для определенности верхнюю точку  $M_0$  за начало отсчёта дуги  $s$ . Запишем основное уравнение динамики материальной точки  $M$ :  $m\vec{a} = \vec{T} + \vec{P}$ . В проекциях на естественные оси получим дифференциальные уравнение движения точки:

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = T_\tau + P_\tau, \quad \frac{m}{\ell} \left( \frac{ds}{dt} \right)^2 = T_n + P_n \quad (2)$$

Заменим переменную на более удобную переменную при движении точки по окружности – углу  $\varphi = \frac{s}{\ell}$ . Тогда уравнения (2) примут вид:



$$m\ell \frac{d^2\varphi}{dt^2} = mg \sin \varphi, \quad m\ell \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = T + mg \cos \varphi \quad (3)$$

Рассмотрим прямую задачу динамики материальной точки [4], определяющую реакцию  $\vec{T}$  при заданном законе движения точки и заданной активной силе тяжести. По условию задача точка вместе со

стержнем движется равномерно  $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = 0$  и, следовательно, левая

часть первого уравнения системы (3) равно нулю, но правая часть равна нулю, либо при  $m = 0$ , либо  $\sin \varphi = 0$ . Последнее будет верно только в верхней точке при  $\varphi = 0$  и в нижней точке при  $\varphi = \pi$ . В остальных положениях при равномерном движении точки  $\sin \varphi = \sin(\omega t) \neq 0$ .

Следовательно при  $m \neq 0$  имеем противоречие закону Ньютона в условиях задачи. Исключив неверное условие равномерного движения, и, задав начальную скорость, нужно сначала решить первое нелинейное дифференциальное уравнение системы (3), а затем, подставив решение во второе уравнение, определять искомую реакцию  $T$ . Минимальное и максимальное значения реакции  $T$  можно определить, не решая дифференциальные уравнения. Применим теорему об изменении кинетической энергии точки на её перемещении из  $M_0$  в  $M$ :

$$\frac{mV^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = mgl(1 - \cos \varphi), \quad \text{откуда} \quad mV^2 = 2mgl(1 - \cos \varphi) + mV_0^2.$$

Подставляя это выражение во второе уравнение системы (3), получим

$$T = m\ell\omega^2 - mg \cos \varphi = mV^2 / \ell - mg \cos \varphi = mV_0^2 / \ell + 2mg - 3mg \cos \varphi.$$

Значение реакции будет минимальным при максимальном значении  $\cos \varphi = 1$ , т.е. при  $\varphi = 0$  в верхней точке, а максимальным при  $\cos \varphi = -1$ ,

т.е. при  $\varphi = \pi$ . Следовательно,  $T_{\min} = mV_0^2 / \ell - mg$ . При  $\varphi = \pi$  в нижней

точке имеем максимальное значение  $T$ :  $T_{\max} = mV_0^2 / \ell + 5mg$ . Если за

начальную скорость принять  $V_0 = \omega l = 2\pi l / \tau = 2\pi m / c$ , а массу принять,

как в рассмотренной выше типовой задаче  $m = \Delta T / 2g$ , то  $T_{\min} \approx 3,81H$ , а

$T_{\max} \approx 5,03H$ .

Таким образом, попытки упростить важные для понимания темы теоретической механике, имеющие отношение к движению механических систем, приводят к неверным выводам и сбивает с толку студентов, которые изучают теоретическую механику на втором курсе и еще помнят, чему их учили в школе.

## Источники

1. ЕГЭ Физика: типовые экзаменационные варианты: 30 вариантов / под руководством М.Ю. Демидовой. – Москва: Издательство «Национальное образование», 2023. – 400с.- (ЕГЭ, ФИПИ – школе).
2. Хакимуллина Л.Ш. Интерактивные методы обучения применительно к дисциплине «Теоретическая механика»/ Л.Ш. Хакимуллина // Вестник Казанского государственного университета. – 2014. – NS. – С. 288 – 295.
3. Орир Джей. Популярная физика = Fundamental Physics : пер. со 2 амер. изд. / Дж. Орир ; пер. с англ.: С. П. Баканов, В. П. Смилга, Е. М. Лейкин ; ред. Л. В. Гессен. - Москва: Мир, 1969. - 556 с.
4. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник для вузов. / С.М. Тарг. – 19-е., изд., испр. – м.: Высш. шк., 2009. – 416 с.

УДК 621.31

## МОДЕРНИЗИЗАЦИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

А.С. Орлов

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент А.В. Титов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ru

В работе рассмотрено способ охлаждения и увеличения мощности газотурбинной установки. Оценка влияния впрыска 5 % пара от расхода воздуха в камеру сгорания ГТУ-160.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, охлаждение, энергоустановка, впрыск воды, водяной пар.

## MODERNIZATION OF THE GAS TURBINE PLANT

A.S. Orlov

KSPEU, Kazan, Russia

sanho\_40@mail.ru

The paper considers a method for cooling and increasing the power of a gas turbine plant. Evaluation of the influence of injection of 5% steam from the air flow into the combustion chamber of the GTU-160.

**Keywords:** gas turbine plant, cooling, power plant, water injection, steam.

Простейшая схема газотурбинной установки (рис.1.), принцип действия: в камере сгорания происходит реакция окисления газа с выделением тепловой энергии, происходит нагрев сжатым при помощи компрессора воздуха, продукты сгорания направляются в газовую турбину, тем самым вращая её ротор, который в свою очередь вращает ротор электрогенератора [1-3].

Так как температура в камере сгорания большая, ГТУ нуждаются в охлаждении отдельных компонентов, дабы избежать губительные для них последствия из-за высоких температур. В частности, это касается камеры сгорания (КС) и турбины. Так же приоритетной задачей по изготовлению ГТУ является рост мощности.

В таком случае можно использовать небольшое количество впрыска воды в камеру сгорания. Важно отметить, что впрыск означает не просто добавление воды в проточную часть ГТУ, а добавление воды в виде «водной пыли».

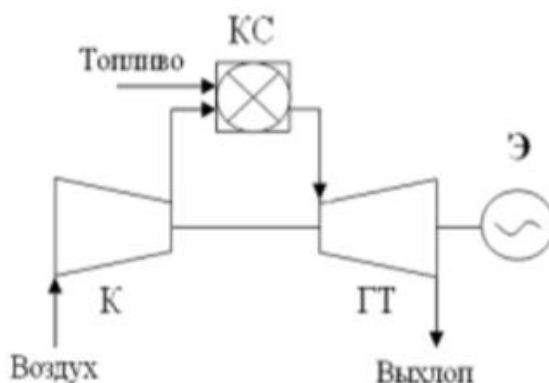


Рис. 1. Простейшая схема газотурбинной установки

Принцип работы впрыска воды заключается в том, что вода имеет огромную теплоемкость, а если её распылить и впрыснуть в двигатель вместе с подающим воздухом, то это позволит охладить сам воздух и саму камеру сгорания. Когда капельки воды попадают в камеру сгорания, то они тут же моментально испаряются. Ещё одно свойство воды заключается в том, что она при испарении намного сильнее расширяется в объеме, чем газ, за счёт этого повышается давление, а следовательно, растёт и мощность турбины [3-5].

Ещё одним плюсом является снижение вредности выбросов в окружающую среду, так как в результате реакции с выхлопными газами образуется углекислый газ и вода.

Ещё существует возможность улучшить подобную схему, впрыскивая в КС не воду, а сразу пар, предварительно получив его из воды, которую нагреют уходящие газы из турбины. Таким образом в КС придётся потратить меньше топлива на парообразование, а значит и увеличение КПД установки.

Запатентованная схема (рис. 2) Иванова Анатолия Александровича, которая отображает принцип работы ГТУ с впрыском водяного пара:

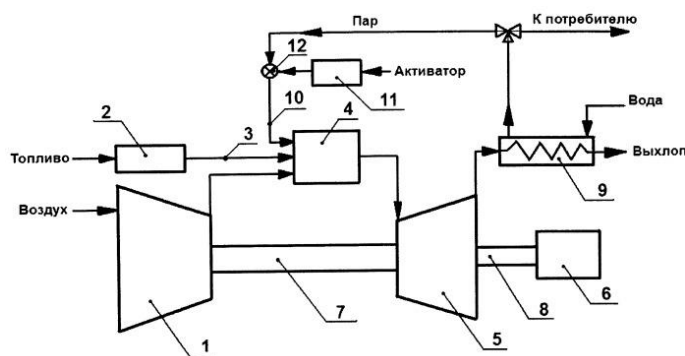


Рис. 2. Запатентованная схема

1 – Компрессор. 2 – Топливный насос. 3 – Средства подачи топлива. 4 – Камера сгорания. 5 – Газовая турбина. 6 – Электродгенератор. 7 и 8 – Ротор. 9 – Котёл-утилизатор. 10 – Система впрыска пара. 11 – Активатор горения. 12 – Система смешивания.

Оценка влияния впрыска 5 % пара от расхода воздуха в камеру сгорания ГТУ-160 показал, что диапазон электрической мощности установки возрос на 3 – 11 МВт (изначально было 158 МВт), КПД увеличился на 7% и составил 42%, расход топлива понизился на 0,25 кг/с, а выброс оксидов азота снизился на 11,8%.

Казалось бы, вода при попадании в двигатель может вызвать гидроудар. Но факт в том, что гидроудар происходит при попадании в КС большого и не распылённого количества воды или водяного пара. В нашем же случае количество воды составляет лишь 10-25% от объёма топлива в распыленном виде. При соблюдении таких условий вода никак не навредит КС и СТ. Но для этого придётся вести систему впрыска воды, которая будет контролировать объём впрыска. Казалось бы, это убытки, но для некоторых предприятий, которые только собираются модернизировать свои ГТУ путём внедрения систем охлаждения, это станет как альтернатива.

### Источники

1. Соловьев И.С., Валиев Р.И., Нугманов Д.Ф. и др. Применение мобильных мини-ТЭЦ с ГТУ как важный фактор освоения

труднодоступных территорий России // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Том Часть 2. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 172-175. EDN ERBLBC.

2. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

3. Осипов Б.М., Титов А.В., Перельштейн Б.Х. Исследование характеристик турбовального газотурбинного двигателя с отбором рабочего тела для функционирования газодинамического лазера // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 65-68. EDN YGTHLR.

4. Шишин А.А., Титов А.В., Осипов Б.М., Кривоносова В.В. Исследование впрыска воды и подвода пара в проточную часть энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9-10. С. 47-51. EDN

5. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.

УДК 531/534

## **АМОРТИЗАЦИОННО-НАТЯЖНОЕ УСТРОЙСТВО ГУСЕНИЧНОГО ТРАНСПОРТА**

Е.Г. Паширов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

boss.pashirov@mail.ru

В работе раскрывается значимость гусеничного транспорта, значимость амортизационно-натяжного устройства (АНУ) и влияние на него трения в шарнирах. Выявлены основные недостатки устройства и пути возможного их решения для повышения работоспособности АНУ.

**Ключевые слова:** амортизационно-натяжное устройство, шарниры, гусеничная техника, рабочая жидкость, трение.

# SHOCK-ABSORBING AND TENSIONING DEVICE OF TRACKED VEHICLES

E.G.Pashirov  
KSPEU, Kazan, Russia  
boss.pashirov@mail.ru

The paper reveals the importance of tracked transport, the importance of a shock-absorbing tension device and the effect of friction in the hinges on it. The main disadvantages of the device and ways of their possible solutions to improve the efficiency of the shock-absorbing and tensioning device are revealed.

**Keywords:** shock-absorbing and tensioning device, hinges, tracked vehicles, working fluid, friction.

В современном мире гусеничный транспорт используется во многих сферах деятельности человека: в военной сфере, сельском хозяйстве, строительстве и промышленности. Гусеничная техника – особый класс машин, который конструктивно отличается от колёсной техники в устройстве ходовой части и управление направлениями движения [1]. Для обеспечения упругого хода оси направляющего колеса, поддержания усилия натяжения гусеницы и её разгрузки при попадании инородного тела в пространство натяжного колеса используют амортизационно-натяжное устройство.

Амортизационно-натяжное устройство (АНУ) используется для гусеничного транспорта в целях стабилизации натяжения гусениц, ограничения величины их усилия растяжения и предотвращения перегрузок движителя.

Когда между гусеницей и натяжным колесом попадает инородное тело, или машина оказывается в труднопроходимых условиях (наезжает на препятствия), происходит сброс давления в системе натяжения с помощью клапана предохранения. В связи с этим можно выделить основные недостатки устройства:

- пониженная надежность устройства из-за утечки рабочей жидкости;
- негативное воздействие внешней среды (попадание грунта, замерзание, коррозия, износ) [2];
- узлы ходовой системы подвержены динамической нагрузке;
- тяжелый транспорт нуждается в дорогостоящих энергоёмких, крупногабаритных пружинах [3].

Для возможного предотвращения негативных последствий необходимо учитывать конструктивные, химические и температурные качества, оказывающие влияние на трение в шарнирах коромысла АНУ.

К конструктивным относятся: строение деталей механизма, конструкция посадки вала, допуски отверстия. Температурные – влияние температур. К химическим можно отнести смазочные материалы.

На основании решения Г. Герца для внутреннего касания цилиндров, методики расчёта усилий на элементах АНУ исследователями [4] были рассчитаны контактные параметры.

Вычисления производились по формуле  $M_m = SRfpm$ , где  $S$  - площадь трения,  $m^2$ ;  $R$  - радиус трущихся поверхностей, м;  $f$  - коэффициент трения,  $p_m$  - давление в контакте поверхностей.

На основании полученных данных были сделаны выводы о том, что без смазочного материала работа сил трения в шарнире приравнивается к 1.4% от затраченной работы, что негативно воздействует на работу шарниров.

Повысить работоспособность амортизационно-натяжного устройства можно, следуя правилам:

1. Использовать густой водостойкий смазочный материал, который будет невосприимчив к физико-химическим показателям внешней среды;
2. Использовать уплотнительный материал во избежание утечки рабочей жидкости (смазочного материала);
3. Для увеличения тягово-сцепных свойств машины и созданию топливной экономичности следует уменьшить число шарниров.

В ходе проведенного исследования были выявлены основные недостатки в работе АНУ, а также были приведены решения, позволяющие уменьшить негативное воздействие вредных факторов и увеличить работоспособность системы.

### **Источники**

1. Основные сведения о современных гусеничных тракторах // ТЕХНОmagazine. [Электронный ресурс] URL: <https://t-magazine.ru/pages/crawler-tractor/> (дата обращения: 28.02.2023).

2. Амортизационно-натяжное устройство гусеничной цепи транспортного средства: пат. 129480 Рос. Федерация № 2012153324/11; заявл. 10.12.12, Бюл. № 18

3. Амортизационно-натяжное устройство: пат. 2032575 Рос. Федерация № 5019872/11; заявл. 15.07.91.

4. Бульбутенко С.С., Овчаренко А.С., Федоткин Р.С. Влияние трения в шарнирах на работоспособность амортизационно-натяжного устройства гусеничной машины // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. - 2013. - №1. - С. 12-16.

УДК 621.311

## **РАСЧЕТ ПОПРАВОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА УДЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ ДЛЯ ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ**

А.В. Петров

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, профессор Н.И. Москаленко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aleksey\_dest1n@mail.ru

В данной статье рассматривается расчет поправочного коэффициента на удельные электрические нагрузки многоквартирных домов, который необходим при выборе соответствующих источников генерации для эффективного энергопотребления. В нем подчеркивается важность точной оценки поправочного коэффициента, который учитывает различные факторы, такие как электрическая система здания, время использования и разнообразие нагрузок. В статье подчеркивается важность использования надежных данных в зависимости от различных факторов.

**Ключевые слова:** Поправочный коэффициент, нормативное значение.

## **CALCULATION OF THE CORRECTION FACTOR OF SPECIFIC ELECTRIC LOADS OF APARTMENT BUILDINGS FOR THE SELECTION OF GENERATION SOURCES**

A.V. Petrov

KSPEU, Kazan, Russia

aleksey\_dest1n@mail.ru

This article discusses the calculation of the correction factor for the specific electrical loads of apartment buildings, which is necessary when choosing appropriate generation sources for efficient energy consumption. It emphasizes the importance of accurately estimating the correction factor, which takes into account various factors such as the building's electrical system, usage time and variety of loads. The article emphasizes the importance of using reliable data depending on various factors.

**Keywords:** Correction factor, normative value.



Современный мир требует все больше энергии, и в связи с этим необходимо подбирать наиболее эффективные источники генерации, чтобы удовлетворять все потребности людей. Особенно забота об энергоснабжении актуальна для многоквартирных домов, где различные электрические приборы и несколько жильцов могут потреблять значительное количество электроэнергии [1-3].

Расчет поправочного коэффициента удельных электрических нагрузок многоквартирных домов направлен на определение пиковых нагрузок с учетом реальной ситуации в здании. Это позволяет выбирать эффективные источники генерации и обновлять системы электроснабжения дома [4-6].

В настоящее время многочисленные многоквартирные дома требуют откорректированного учета удельных электрических нагрузок. Этот расчет необходим, когда нужно подобрать альтернативные источники энергоснабжения для компенсации пиковых нагрузок системы.

Для расчета поправочного коэффициента необходимо знать данные о среднем уровне потребления в различные периоды времени и наличии пиков. Обычно для этого используются среднегодовые данные по расходу электроэнергии с учетом количества жильцов в доме.

В результате расчета можно определить объем необходимых обновлений домовых систем энергоснабжения, которые учитывают пиковые нагрузки и различные факторы.

Используя поправочный коэффициент, можно принять более обоснованное решение о том, какой источник электроэнергии лучше всего подходит для удовлетворения конкретных потребностей многоквартирного дома. Выбор источников генерации, которые будут использоваться для компенсации пиковых нагрузок, является очень важной задачей. Факторы, на которые следует обратить внимание, включают в себя технологические особенности, внутрисанитарные параметры нагрузки, технические требования и бюджетные ограничения.

Возобновляемые источники энергии, такие как энергия солнца и ветра, становятся все более популярными для производства электроэнергии для многоквартирных домов. Эти источники энергии не только экологически безопасны, но и становятся более рентабельными, чем традиционные источники энергии из ископаемого топлива.

В заключение, расчет поправочного коэффициента удельных электрических нагрузок многоквартирных домов имеет решающее значение при выборе правильных источников генерации. При этом учитываются различные факторы, такие как тип используемых приборов,

количество жильцов, климат и заполняемость здания. Поправочный коэффициент обеспечивает выбор правильных источников генерации, что важно для сокращения выбросов углерода и обеспечения энергоэффективности. Имея правильные источники генерации, мы можем создать более устойчивое будущее для себя и будущих поколений.

### **Источники**

1. Федотов А.И. Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85. EDN NVAMET.

2. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66. EDN SAWUQX.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. EDN MBYUSE.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

5. Солуянов, Ю. И. Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57. EDN LANQDE.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Анализ фактических электрических нагрузок объектов индивидуального жилищного строительства // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № 5(68). С. 60-65. EDN DXVKQM.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВИЭ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

Д.Н. Петров

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

denis200233@yandex.ru

В работе рассмотрены виды ВИЭ в составе энергетической системы Республики Башкортостан, их эффективность и целесообразность развития.

**Ключевые слова:** энергетическая система Республики Башкортостан, возобновляемые источники энергии.

## EFFICIENCY OF RENEWABLE ENERGY IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

D.N. Petrov

KSPEU, Kazan, Russia

denis200233@yandex.ru

The paper considers the types of renewable energy sources as part of the energy system of the Republic of Bashkortostan, their effectiveness and feasibility of development.

**Keywords:** the energy system of the Republic of Bashkortostan, renewable energy sources.

Цель данной работы – проанализировать эффективность производства, эксплуатации и функционирования ВИЭ в Республике Башкортостан. Башкортостан обладает широкой базой выработки различных видов электроэнергии. К ним можно отнести ТЭЦ, ГРЭС, ГЭС (малые и микро), СЭС и ВЭС. Важно для эффективной работы их правильно подобрать и спроектировать с минимальными экономическими и технологическими затратами [1-4].

Территориальные потребности региона к октябрю 2022 года обеспечивают 40 электростанций, пребывающих в составе Единой энергетической системы России, общей мощностью в 5,5 ГВт. Доля каждого вида электростанций в общей генерации составляет:

- тепловые – 94%;

- гидроэлектростанции – 4,1%;
- ветряные и солнечные – 1,7%

### **Ветряная энергетика**

Опытно-экспериментальная ветроэлектростанция «Тюпкильды», единственная в Республике Башкортостан, находится около одноименной деревни в Туймазинском районе. Мощность станции составляет 1,65 МВт (занимавшая третье место по России на момент открытия среди ВЭС), а выработка энергии составляет лишь малую часть от общей выработки БГК (Башкирской генерирующей компании). Её использование за все время эксплуатации оказалось убыточным. Однако, не смотря на это, на базе станции энергетики накапливают опыт работы с такими типами объектов выработки энергии [5-9].

### **Солнечная энергетика**

Солнечная энергетика в Республике Башкортостан представлена группой компаний «Хэвел». Так они запустили СЭС в районах с высокой нуждаемостью в электроэнергии (Кююргазинский и Хайбулинский). С пуском в конце 2017 года Исянгуловской СЭС Общая мощность солнечной генерации в регионе достигла 44 МВт.

СЭС, ВЭС и мини-ГЭС объединяет периодическая генерация и высокая стоимость производства электроэнергии. После пуска в работу Бурибаевской солнечной электростанции цена электроэнергии, которая выкупалась в сеть, составляла 8 рублей за кВт/ч со слов бывшего вице-премьера правительства Республики Башкортостан Дмитрия Шаронова. Компания «Хэвел» отметила, что в среднем по стране за киловатт солнечной энергии придется платить около 10 рублей.

### **Мини-ГЭС**

В настоящее время в Республике Башкортостан действует две МГЭС и три микро-ГЭС. Общая мощность станций составляет 745 КВт. Однако так было не всегда, еще в 1950 годы в республике было построено 200 сельских ГЭС снабжающие электроэнергией отдаленные сёла. Но со временем все они были закрыты и законсервированы, так как сельские линии электропередачи были подсоединены к централизованному электроснабжению.

### **Источники**

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

2. Жилкина Ю.В. Развитие электроэнергетики: вертикальная интеграция или дальнейшая либерализация отрасли? // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2(38). С. 106-113. EDN VVXMIS.

3. Gizatullin, Z. M. Prediction of Noise Immunity of Computing Equipment under the Influence of Electromagnetic Interference through the Metal Structures of Building by Physical Modeling / Z. M. Gizatullin, R. M. Gizatullin, M. G. Nuriev // Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIconRus 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. – P. 120-123. DOI 10.1109/EIconRus49466.2020.9039452. EDN ZHZGMM.

4. Солуянов, Ю. И. Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57. EDN LANQDE.

5. Zhilkina Y., Vodennikov D., Maslov I. Mechanism of business entities innovative development management (organizational and economic approaches) // E3S Web of Conferences: 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. Vol. 124. P. 04019. DOI 10.1051/e3sconf/201912404019. EDN BLAWVN.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Анализ фактических электрических нагрузок объектов индивидуального жилищного строительства // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № 5(68). С. 60-65. EDN DXVKQM.

7. Гизатуллин Р. М., Гизатуллин З.М., Нуриев М.Г. Помехоустойчивость вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 11. С. 2. EDN XYERLP.

8. Жилкина Ю. В. Финансовая система и обеспечение экономической безопасности России в условиях санкций // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2018. № 3(50). С. 33-42. EDN YTNSEP.

9. Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М., Нуриев М.Г., Назметдинов Ф.Р. Снижение электромагнитных помех и защита информации в вычислительной технике с помощью экранирующих стекол // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 3(35). С. 46-57. EDN YOJTLT.

## РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ ВЫБОРЕ ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ

Я.О. Печенкин

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, профессор Н.И. Москаленко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

yuarichev@mail.ru

В данной статье рассматривается важность расчета электрических нагрузок и повышения качества жилищного комплекса. Также обсуждаются различные формы мер по повышению энергоэффективности и то, как они могут помочь снизить затраты и улучшить качество жилищного комплекса.

**Ключевые слова:** жилой комплекс, многоквартирный дом, энергоэффективность, нормативные значения.

## CALCULATION OF ELECTRIC LOADS WHEN SELECTING GENERATION SOURCES

Ya.O. Pechenkin

KSPEU, Kazan, Russia

yuarichev@mail.ru

This article discusses the importance of calculating electrical loads and improving the quality of the housing complex. It also discusses various forms of energy efficiency measures and how they can help reduce costs and improve the quality of a housing estate.

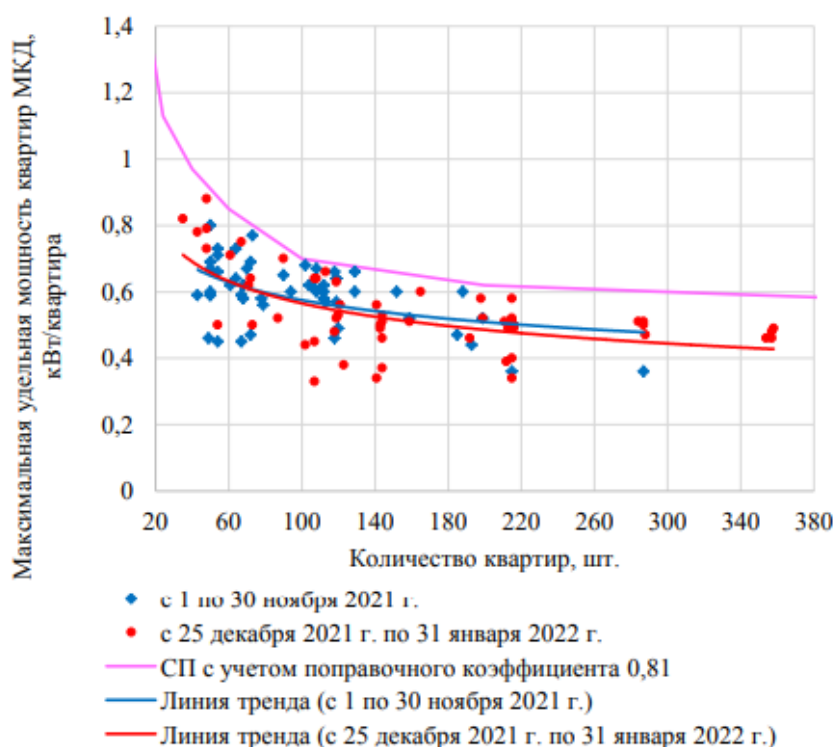
**Keywords:** residential complex, apartment building, energy efficiency, standard values.

Жилые комплексы становятся все более популярными среди горожан, ценящих удобство и комфорт проживания в благоустроенном пространстве. Однако с ростом популярности возникает необходимость гарантировать безопасность жителей и эффективную работу электрической сети. Для этого необходимы расчеты электрических нагрузок [1-3].

Прежде чем построить жилой комплекс, необходимо точно рассчитать требования к электрической нагрузке. Расчеты электрической нагрузки относятся к расчету общей мощности, которая потребуется для работы электрической системы. Расчеты должны учитывать тип

оборудования, которое будет использоваться, количество жильцов, общую площадь комплекса, потребности жильцов в освещении, а также любые дополнительные приборы, которые могут потребоваться. В расчетах жилой комплекс рассматривают как объединение отдельных многоквартирных домов (в последствие МКД) [4-6].

Для наглядности в качестве примера приведем на рисунке результаты расчетов электрической нагрузки для МКД высотой от 6 до 11 этажей г. Москвы [6].



Зависимость максимальной удельной мощности квартиры

Линия тренда показывает тенденцию изменения максимальной удельной мощности от количества квартир, также приведена линия из свода правил (СП). Этот график позволяет понять, что с увеличением количества квартир падает максимальная удельная мощность. Также видно, что при расчетах значения из СП берут с учетом на поправочный коэффициент. Он нужен для компенсации разницы между нормативными и фактическими нагрузками.

После точного расчета требований к электрической нагрузке следующим шагом является внедрение мер по улучшению качества. К наиболее распространенным мерам по улучшению качества относятся установка систем защиты от перенапряжений и установка энергоэффективного освещения. Помимо этого, для уменьшения затрат на

электроэнергию можно актуализировать нормативные значения удельных электрических нагрузок. Такой шаг позволит снизить затраты на электроэнергию в 2-3 раза [2]. Еще для улучшения качества важно инвестировать в энергосберегающее оборудование для комплекса.

В заключении можно подвести итог, что расчет электрических нагрузок и мероприятия по улучшению качества необходимы для безопасности, комфорта и качества жизни жителей жилого комплекса. Точные и актуальные расчеты электрической нагрузки необходимы для того, чтобы электрическая система могла удовлетворить потребности жильцов, а меры по улучшению качества могут помочь повысить энергоэффективность и безопасность комплекса.

### **Источники**

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

2. Федотов А.И. Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85. EDN NVAMET.

3. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66. EDN SAWUQX.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. EDN MBYUSE.

5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

6. Солуянов, Ю.И. Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57. EDN LANQDE.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ В АВТОМОБИЛЯХ

Р.Р. Садриев<sup>1</sup>, Б.Д. Шавалеев<sup>2</sup>, Р.Д. Седой<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>rashitsadriev44@gmail.com, <sup>2</sup>bulatshavaleev663@gmail.com, <sup>3</sup>diligentquaga@gmail.com

В статье рассмотрены возможности применения газотурбинного двигателя в повседневной жизни людей, в частности в транспорте.

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, двигатель, машина, альтернатива классическим поршневым двигателям, многообразие топлива.

## THE USE OF A GAS TURBINE ENGINE IN CARS

R.R. Sadriev<sup>1</sup>, B.D. Shavaleev<sup>2</sup>, R.D. Sedoy<sup>3</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>rashitsadriev44@gmail.com, <sup>2</sup>bulatshavaleev663@gmail.com, <sup>3</sup>diligentquaga@gmail.com

The article discusses the possibilities of using a gas turbine engine in people's daily lives, in particular in transport.

**Keywords:** gas turbine engine, engine, car, alternative to classical piston engines, fuel variety.

В статье рассмотрены возможности применения газотурбинного двигателя в повседневной жизни людей, в частности в транспорте.

В настоящее время остро стоит вопрос об альтернативе поршневым двигателям в автомобилях, а также возможность использования иных видов топлива с целью уменьшения затрат на передвижение [1].

ГТД (газотурбинный двигатель) — это двигатель, в котором воздух сжимается нагнетателем перед сжиганием топлива, а нагнетатель же в свою очередь приводится в движение газовой турбиной. Сжатый воздух из компрессора поступает в камеру сгорания, где топливо сгорая, образует газообразные продукты с большей энергией [2].

Крупная корпорация Chrysler однажды уже попробовала установить ГТД в машину и передала их 48 людям на испытательный срок. Эти люди должны были каждую неделю высылать отчеты в испытательный центр.

Участники событий отзывались положительно об управлении автомобилем, однако главными условиями были поддержка нормированной температуры, она должна была не превышать 900 градусов Цельсия, а также держать стрелку тахометра на уровне 17 000 - 22 000 оборотов в минуту.

Однако турбина имела характерный шум, который выделялся среди других автомобилей и привлекал внимание очевидцев в радиусе 30 метров. Так же водитель в прямом смысле имел у себя под капотом «адскую печку», ибо двигатель работал в температурном режиме 700 - 1100 градусов Цельсия.

К удивлению испытателей, автомобиль мог разогнаться с 0 до 100 км/ч за примерно 10 секунд, что было впечатляющим результатом для того времени, не смотря на средние по тем меркам 130 л.с. [3].

Также одним из преимуществ газотурбинного двигателя является то, что можно использовать любое топливо, будь то мазут, керосин, или новомодный водород. Однако главным минусом, что и похоронил перспективную разработку, был расход топлива, а именно 22 литра на 100 км. Именно этот факт определил дальнейшую судьбу разработки. После всех испытаний автомобили были возвращены в компанию и большинство из них были разобраны, а некоторые переданы в музей [4].

### **Источники**

1. Иванов В. Л. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. / В.Л. Иванов, Э.А. Манушин. - Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. - 534 с. - ISBN 978-5-7038-4813-5. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/374906/reading> (дата обращения: 06.03.2023).

2. Цанев, С. В. Газотурбинные энергетические установки : учебное пособие для вузов / Цанев С. В. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01088-4. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383010884.html> (дата обращения: 06.03.2023).

3. Скороходов А. В. Испытания газотурбинных газоперекачивающих агрегатов и вспомогательного оборудования : учебное пособие / А.В. Скороходов, В.Л. Блинов, О.В. Комаров. - Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2020. - 132 с. - ISBN 978-5-7996-3151-2. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/382153/reading> (дата обращения: 06.03.2023).

4. Газотурбинный двигатель: [Электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Газотурбинный\\_двигатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Газотурбинный_двигатель) (Дата обращения: 06.03.2023).

УДК 66.045.1

## ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Э.И. Сайфуллина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Sajfullina1@bk.ru

В данной статье представлен обзор и анализ видов теплообменных аппаратов высокого давления. Рассмотрены их схемы и проанализирована их эффективность.

**Ключевые слова:** теплопередача, теплообменники, ТЭС, эффективность.

## HIGH PRESSURE HEAT EXCHANGERS

E.I. Sajfullina

KSPEU, Kazan, Russia

Sajfullina1@bk.ru

This article presents an overview and analysis of the types of high pressure heat exchangers. Their schemes are considered and their efficiency is analyzed.

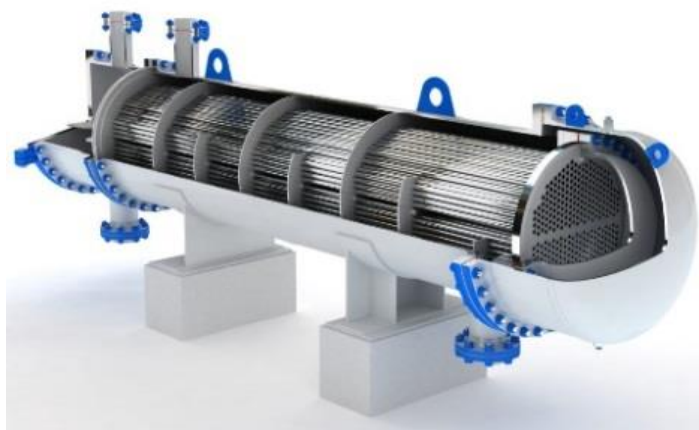
**Keywords:** heat transfer, heat exchangers, thermal power plants, efficiency.

Технологические процессы, требующие нагрева или охлаждения жидкостей, становятся все более распространенными в различных инженерных приложениях. Для этого используются теплообменные аппараты, которые могут быть классифицированы по различным критериям, таким как конструкция, принцип действия и механизм теплопередачи.

Несмотря на то, что пластинчатые теплообменники и кожухотрубчатые теплообменные аппараты имеют свои достоинства и ограничения, в настоящее время они являются наиболее распространенными. Кожухотрубчатые теплообменники считаются надежными, износостойкими и эффективными, в то время как

пластинчатые теплообменные аппараты - компактными, простыми в обслуживании и долговечными.

Кожухотрубчатые теплообменники состоят из кожуха (внешней оболочки) и трубчатого элемента (внутренней части). Один из теплоносителей (обычно газ) проходит через кожух, а другой (обычно жидкость) проходит через трубчатый элемент. Тепло передается через стенки трубок из жидкости в газ, или наоборот, в зависимости от конкретной конфигурации теплообменника [1].



Кожухотрубчатый теплообменный аппарат

Основной сложностью при проектировании и изготовлении теплообменных аппаратов является увеличение гидравлических потерь при возрастании интенсификации. Коэффициенты теплоотдачи возрастают с увеличением скоростей теплоносителей.

Однако, независимо от выбора конкретного типа теплообменного аппарата, необходимо учитывать условия эксплуатации и своевременность проведения ремонтных работ для обеспечения максимальной эффективности и экономичности работы оборудования. В конечном итоге, экономия, обусловленная заменой теплообменного аппарата, является экономическим эффектом теплообменника и непосредственно влияет на эффективность работы всего теплового оборудования [2-4].

С 90-х годов прошлого столетия начали активно применяться пластинчатые теплообменные аппараты. Пластинчатый теплообменник обладает выдающимися характеристиками по мощности. Его способность поддерживать температуру теплоносителя на уровне до 180 градусов делает его незаменимым в условиях, когда требуется эффективный и быстрый теплообмен.

Дополнительно стоит учитывать и другие факторы при выборе между кожухотрубчатым и пластинчатым теплообменниками. Например, кожухотрубчатые аппараты имеют более высокую термическую инерцию, что может быть преимуществом в случае необходимости регулирования температуры процесса. Также они могут быть более устойчивы к коррозии в некоторых условиях эксплуатации [5].

С другой стороны, пластинчатые теплообменники обычно имеют более высокий коэффициент теплоотдачи, что может быть преимуществом в случаях, когда требуется компактный размер аппарата. Они также могут иметь более низкие затраты на транспортировку и установку, благодаря своей компактности и небольшому весу.

Таким образом, при выборе между кожухотрубчатым и пластинчатым теплообменниками необходимо учитывать множество факторов, таких как условия эксплуатации, требования к производительности, стоимость, легкость обслуживания и т.д. В каждом конкретном случае может быть более предпочтительным один тип аппарата перед другим.

Существует несколько порогов по избыточному давлению кожухотрубных теплообменников, которые зависят от их конструкции и предназначения. Обычно, для промышленных кожухотрубных теплообменников, предельное избыточное давление может достигать 10-16 бар в зависимости от материала, из которого они изготовлены, размеров и других параметров.

### **Источники**

1. ГОСТ 15122-79. Теплообменники кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Основные параметры и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

2. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.

3. Справочник по теплообменникам. В 2 т. Т. 2 / под ред О.Г. Мартыненко [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.

4. Марьян Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный

технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN СМҮРКА.

5. Пластинчатые теплообменники: Метод. указания/ С.С. Амирова, А.С. Приданцев, А.Т. Тухватова, А.А. Сагдеев. – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) КГТУ, 2010.

УДК 662.613.112;62-665.9

## АНАЛИЗ СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БИОТОПЛИВА РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

О.А. Сидоркина<sup>1</sup>, Е.Е. Лучкина<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук Ю. В. Караева

Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

<sup>1</sup>leylik.sidorkina@mail.ru, <sup>2</sup>yekaterina.luchkina@inbox.ru

Проведен анализ свойств минеральной части биотоплива растительного происхождения. Данные химического состава золы щепы пихты, пшеничной соломы, стеблей горчицы, початков кукурузы использовались для определения коэффициентов зашлакованности, обрастания, абразивности и коррозии.

**Ключевые слова:** биомасса, зольность, шлакующие и загрязняющие свойства золы, обрастание, щепы пихты, пшеничная солома, стебли горчицы, початки кукурузы.

## ANALYSIS OF PROPERTIES OF MINERAL PART OF PLANT BIOFUELS

O.A. Sidorkina<sup>1</sup>, E.E. Luchkina<sup>2</sup>

Institute of Power Engineering and Advanced Technologies, FRC Kazan Scientific Center,

Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

<sup>1</sup>leylik.sidorkina@mail.ru, <sup>2</sup>yekaterina.luchkina@inbox.ru

An analysis of the properties of the mineral part of biofuel of plant origin was carried out. Data on the chemical composition of biomass ash from fir wood chips, wheat straw, mustard stalks and corn cobs were used to determine slagging, fouling, abrasion, and corrosion indices.

**Keywords:** biomass, ash, slag and polluting properties of ash, fouling, fir wood chips, wheat straw, mustard stalks, corn cobs.

В последнее время внимание к биоэнергетике как альтернативе ископаемым источникам энергии чрезвычайно возросло из-за проблем глобального потепления, возникающих в основном из-за сжигания ископаемого топлива. Поэтому в настоящее время во всем мире проводятся обширные исследования с целью расширения использования биомассы для производства энергии [1,2].

Объектами исследования являлись следующие биотоплива: щепы пихты, пшеничная солома, стебли горчицы, початки кукурузы. Данные по химическому составу золы были взяты из [3,4,5]. Для анализа свойств минеральной части биотоплива растительного происхождения был произведен расчет основных параметров шлакования золы [6], категории риска, для которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Категории риска шлакования и обрастания

Параметры шлакования	Низкий риск	Средний риск	Высокий риск
Кислотно-основное соотношение	<0,5	0,5-0,7	>0,7
Индекс вязкости шлака	>72	65-72	<65
Показатель шлакообразования $R_S$	<0,6	0,6-2	>2
$Fe_2O_3$	<8	8-15	>15
Коэффициент обрастания	<0,2	<0,5	<1
$Na_2O$ в золе	<2	2-6	>6
Общее количество щелочей	<2	2-3	>3
Коэффициент абразивности	<4	4-8	>8
Общее содержание хлора	<0,3	0,3-0,5	>0,5
Отношение S/Cl	>4	2-4	<2

Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры шлакования для биотоплив растительного происхождения

Параметры	Щепа	Пшеничная	Стебли	Початки
	пихты	солома	горчицы	кукурузы
<b>Коэффициент зашлакованности</b>				
Кислотно-основное соотношение	0,74	1,2	0,4	1,42
Индекс вязкости шлака	58,89	76,96	76,65	86,76
Показатель шлакообразования $R_S$	0	0,07	0	0
$Fe_2O_3$	5,1	0,60	2,18	1,51

<b>Коэффициент обрастания</b>				
Коэффициент обрастания	1,19	2,57	0,89	0,4
Na <sub>2</sub> O в золе	1,6	2,14	2,19	0,28
Общее количество щелочей	8,90	37,09	10,46	48,2
<b>Коэффициент абразивности</b>				
Коэффициент абразивности	1,14	2,91	4,93	1,09
<b>Коэффициент коррозии</b>				
Общее содержание хлора	0,1	4,35	2,1	1,24
Отношение S/Cl	0	0,01	0	0

Так, зола щепы пихты обладает средним коэффициентом зашлакованности, а зола пшеничной соломы, стеблей горчицы и початков кукурузы низким. Полученные данные по показателю обрастания указывают на средний риск загрязнения при использовании початков кукурузы, в отличие от остальных исследуемых образцов, у которых он высокий. Значение коэффициента абразивности указывает на низкий риск для трех образцов биотоплива: щепы пихты, пшеничной соломы и початков кукурузы. Средней способностью к коррозии обладает щепка пихты.

Таким образом, отходы растениеводства можно использовать в качестве биотоплива. Шлакуемость золы можно снизить совместным сжиганием с другими топливами, имеющими более тугоплавкую золу, а также подбором оптимального режима работы оборудования.

### **Источники**

1. Ндлову Э.Т. Режимные параметры котла для сжигания багассы / Э.Т. Ндлову, М.В. Савина // Тинчуринские чтения. Материалы XIV Международной молодежной научной конференции. – Казань: КГЭУ, 2019. – С. 245-249.
2. Комплексный метод утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций / Э. Р. Зверева [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. - №2. – С. 14 – 26.
3. Ash melting behaviour of reed and woody fuels blends / S. Link [et al.] // Fuel. – 2022. – V. 314. – P. 371 – 391.
4. Плавкость золы отходов растениеводства в условиях высокотемпературной переработки / М. В. Цветков [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2021. – Т. 94. - №2. – С. 371 – 379.



5. Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion/ S. V. Vassilev [et al.] // Fuel. – 2017. – V. 208. – P. 377–409.

6. Effectiveness of different additives on slagging and fouling tendencies of blended coal / Haryana // Journal of the Energy Institute. – 2023. - №10. – P. 134 – 148.

УДК 621.311

## МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.Р. Ситдииков

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

adel\_sitdikov@mail.ru

В статье рассмотрена поэтапная технология очистки сточных вод на предприятиях теплоэнергетики. Были изучены мероприятия, обеспечивающие снижение вредных стоков или вредных выбросов в атмосферу.

**Ключевые слова:** сточные воды, энергетические комплексы.

## WASTEWATER TREATMENT METHODS FOR ENERGY ENTERPRISES

A.R. Sitdikov

KSPEU, Kazan, Russia

adel\_sitdikov@mail.ru

The article considers a step-by-step technology for wastewater treatment at thermal power plants. Measures were studied to ensure the reduction of harmful effluents or harmful emissions into the atmosphere.

**Keywords:** wastewater, energy complexes.

Предприятия энергетического комплекса являются одними из основных потребителей природных вод. По оценкам специалистов, они составляют около 70 % от общего объема потребляемой воды, из них около 90 % сбрасывается в поверхностные водоемы в виде сточных вод, 4 % которых составляют загрязненные воды.

После промывной воды очищают и используют для освещения отстойников или декантаторов, барабанных вакуум-фильтров с возвратной водой, во всяком случае с механическими фильтрами, в баках регенерации

промывных вод [1-3]. Для обезвреживания воды регенерации стоки из отстойника направляются в шламокамеру через ионные фильтры. Неводный остаток, образующийся в фильтр-прессе, следует транспортировать на места отходов, хорошо защищенные от попадания загрязняющих веществ в окружающую среду.

Принципиальная схема системы обезвреживания осадка предварительной очистки представлена на рисунке 1.

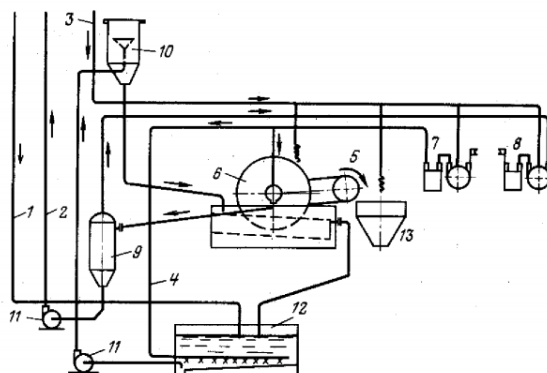


Рис.1. Схематическое изображение установки для обезвреживания осадка, промывки сточных вод:

- 1 - Подача осадка; 2 - осветленная вода на входе; 3 - технологическая вода; 4 - воздух;  
 5 - обезвоженный осадок; 6 - барабанный вакуумный фильтр; 7 - вентилятор; 8 - вакуумный насос; 9 - приемник; 10 - постоянный резервуар; 12 - насос; 12 - контейнер;  
 13 - бункер для обезвоженного осадка

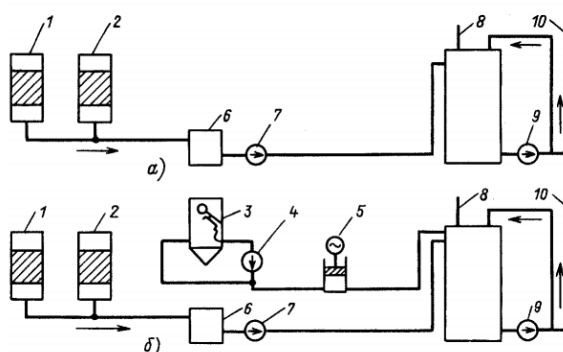


Рис.2. Системы самонейтрализации (а) и нейтрализации (б) отложений сточных вод на очистных сооружениях:

- 1-катионный фильтр Н; 2-анионный фильтр; 3 - смеситель извести; 4 - известковосмеситель насосный; 5 - молокоотсос перекачиваемый; 6 - колодцы для сбора воды регенерации; 7 - насосная; 8 - бак-преобразователь; 9 - насос для прессования и разгрузки; 10-конденсаторы через каналы охлаждающей воды проходят через турбину или источник воды.

Очистка сточных вод также может быть направлена в систему ГЗУ или на нейтрализацию кислых сточных вод ( $pH > 9$ ) (рис. 2).

При предварительной очистке вода из фильтров механической очистки поступает в источник воды (при кантировании) или на дно всех уровней (при прокаливании). Для обеспечения бесперебойного течения эта вода предварительно хранится в баке сбора промывной воды механических фильтров [4-5].

Промывочная вода механических фильтров очищается либо в специальном отстойнике, откуда сточные воды возвращаются в источник воды и удаляются отложения в отстойниках, либо используется в системе ГЗУ, либо используется для регенерации ионного фильтра. Система сбора воды.

Сточные воды из ионообменной части очистных сооружений являются реальными минералами, за исключением некоторого количества крупных примесей, вызванных ослаблением фильтра.

### **Источники**

1. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. vol. 124. article number 05061. DOI 10.1051/e3sconf/201912405061.

2. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. article number 8934431. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934431.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-2-84-92.

4. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 47-56.

5. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского

государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355.

УДК 621.311

## **ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Д.И. Смирнова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

smirnovad122@gmail.com

В статье проведен анализ выбора электрооборудования с учетом условий окружающей среды. Представлены технические параметры выбора приборов.

**Ключевые слова:** электрооборудование, климат, напряжение, ущерб, эксплуатация.

## **SELECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT TAKING INTO ACCOUNT ENVIRONMENTAL CONDITIONS**

D.I. Smirnova

KSPEU, Kazan, Russia

smirnovad122@gmail.com

The article analyzes the choice of electrical equipment taking into account environmental conditions. The technical parameters of the choice of devices are presented.

**Keywords:** electrical equipment, climate, voltage, damage, operation.

При выборе электрооборудования предприятие ориентируется на усредненный период эксплуатации приборов и факторы окружающей среды. В разных условиях отклонение напряжения отличается. Чтобы не наносить ущерб, следует проверять оборудование на соответствие реальному сроку эксплуатации и проводить верную замену старых деталей. Показатели приборов не должны выходить за пределы допуска. К примеру, мощность нагрузки не превышает мощность электродвигателя [1-3]. По техническим характеристикам, выбор оборудования состоит из оценки соответствия климата и допускаемым режимам работы. Срок

службы прибора может сократиться из-за высокой температуры и влажности.

Для выгодной эксплуатации стоит подбирать правильное электрооборудование, гарантирующее бесперебойную и эффективную службу системы. В процессе проектирования нечеткость условий среды, различие факторов режима работы, отклонение напряжения, неправильное значение потребляемой мощности нарушают выбор. Во время эксплуатации оборудование испытывают точнее, чтобы не вызывать технологический ущерб. Для выбора производственного помещения электротехнического оборудования учитываются температура воздуха, влажность, наличие пыли и газа, взрывоопасность. С этой целью изготовление происходит с учетом климатических условий местности: место размещение, защита от попадания пыли и влаги, влажность воздуха.

Для защиты оборудования от коррозии, в местах с высоким уровнем запыленности, потребуется использование специального уплотнения, крышки, прокладки. В районах затопления приборы должны быть водонепроницаемыми и устанавливаться на определенной высоте. Зона с высоким риском попадания молнии оснащается системой защиты от перенапряжения. Вблизи радиопередатчиков, которые обладают высоким уровнем электромагнитных импульсов, предусмотрено включение фильтров для снижения риска помех.

Несоответствие данным пунктам может привести к увеличенному количеству затрат на эксплуатацию и выходу из строя системы. Поэтому, для каждого климата предусмотрены различные изделия. Существуют технические параметры, по которым выбирают оборудование:

1. Напряжение – чтобы выдерживать нужный ток, электрические компоненты должны иметь правильное номинальное напряжение;
2. Частота – для работы компонентов с нужной скоростью;
3. Защита от перенапряжения – устройство для защиты от внезапных скачков напряжения;
4. Сопротивление изоляции – хорошее сопротивление защитит от поражения электрическим током;
5. Долговечность – выдержка суровых условий применения и окружающей среды
6. Диапазон рабочих температур – оборудование должно выдерживать суровые климатические условия
7. Электромагнитная совместимость – для сведения электромагнитных помех к минимуму

8. Стоимость – для долгосрочной рентабельности лучше приобрести дорогие качественные компоненты

С учетом условий окружающей среды и технических параметров можно выбрать подходящее электрооборудование для каждого применения, что поможет обеспечить надежность, безопасность и долгий срок службы.

### **Источники**

1. Радкевич, В. Н. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий / В. Н. Радкевич, В. Б. Козловская, И. В. Колосова. Минск: Белорусский национальный технический университет, 2017. 171 с. ISBN 978-985-550-912-8. EDN GTEIVE.

2. Киргизов, А. К. Влияния фактора высоты месторасположения на выбор электрооборудования / А. К. Киргизов, Л. С. Касобов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : материалы 11-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 05–06 ноября 2015 года / Под общей редакцией Р.А. Ковалева. – Тула: Тульский государственный университет, 2015. С. 367. EDN YNOMNN.

3. Маргаринт, А. О. Выбор и проверка электрооборудования / А. О. Маргаринт // Точная наука. 2021. № 114. С. 28-30. EDN FYXPVZ.

УДК 621.3

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

К.С. Соколова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sklvkrs@gmail.com

В статье рассматриваются перспективы развития возобновляемых источников энергии в Российской Федерации. Работа топливного и энергетического комплекса тесно связана с экономическим ростом любой страны.

**Ключевые слова:** энергия, возобновляемые источники энергии, топливо, производство, ресурс, отходы.

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE RUSSIAN FEDERATION

K.S. Sokolova  
KSPEU, Kazan, Russia  
sklvkrs@gmail.com

The article discusses the prospects for the development of renewable energy sources in the Russian Federation. The work of the fuel and energy complex is closely related to the economic growth of any country.

**Keywords:** energy, renewable energy sources, fuel, production, resource, waste.

Экономический рост любой страны связан с работой топливного и энергетического комплекса. Государства, где энергоресурсы применяются с высокой эффективностью, проявляют себя как наиболее конкурентоспособные.

Возобновляемые источники энергии – это те источники энергии, которые постоянно возобновляются в биосфере Земли, включая: Солнечную энергию, энергию ветра и воды; Энергию приливов и волн из водных объектов, таких как водохранилища, реки, океаны и моря; Геотермальную энергию из естественных подземных теплоносителей; Тепловую энергию с низким потенциалом из подземных, атмосферных и подводных источников с использованием специальных теплоносителей; Биомассу: растения, включая деревья, выращенные специально для производства энергии, и отходы производства и потребления (за исключением углеводородного сырья и отходов, полученных при производстве топлива), а также биогаз; Газы, которые выделяются на полигонах отходов производства и потребления; Газы, которые выделяются из угольных шахт.

Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок [1-4]

В теории возможно также использовать энергию течений, волн и температурных градиентов океана. Однако это пока не получило широкого распространения.

ВИЭ не означает, что эти источники вечны: ВИЭ использует солнечную энергию, а также энергию тепла, земных недр и вращения

Земли. Если солнца не станет, Земля остынет, и ВИЭ перестанет функционировать.

Возобновляемая энергия состоит из самых разных природных ресурсов, а это значит, что не возобновляемые ресурсы можно сохранить и пользоваться ими в других областях экономики, а чистую энергию оставить для следующих поколений.

Возобновляемая энергия не зависит от топлива и поэтому гарантирует энергетическую безопасность и стабильную цену на электроэнергию. Возобновляемая энергия экологически безопасна: при эксплуатации ВИЭ почти не образуется отходов и токсичных веществ в атмосфере и водоемах. Как правило электростанции на ВИЭ легко автоматизируются и могут работать без непосредственного вмешательства человека.

Сегодня Российский агропромышленный комплекс встречается с проблемой уничтожения большого количества биологических отходов. В большинстве случаев они просто вывозятся с территории фермы и складываются. Земля, водоемы, леса и пастбища, прилегающие к фермам, подвергаются серьезному загрязнению. В результате серьезный социальный, экономический и экологический ущерб наносится не только сельскохозяйственным территориям, но и жителям соседних населенных пунктов. Решением проблем отходов станет развитие биогазовой энергетики в сельскохозяйственных регионах. Также оно станет решением энергетических проблем сельского хозяйства. Необходимо подчеркнуть, что потенциал возобновляемых источников энергии в экономической сфере значительно вырос и будет расти по мере роста цены на традиционный вид топлива. Не считая устойчивости и экологичности ВИЭ, которые служат бесспорными преимуществами этих видов энергии, имеются множество других причин, объясняющие необходимость их усиленного применения.

Необходимость оборота ВИЭ в России обусловлена тем, что ВИЭ необходимы для решения следующих задач: Стабильное обеспечение теплом и электроэнергией населения и производства в регионах децентрализованного снабжения электроэнергией, особенно в районах Крайнего Севера и ближайших к ним регионах. Сейчас основными факторами, препятствующими развитию ВИЭ в России, считается отсутствие финансовой поддержки для разработки программ.



## Источники

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

3. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. С. 4430-4433. EDN RZFYRH.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-2-84-92. EDN SJMVUR.

УДК 620.952

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ В СХЕМАХ ПГУ

Э.В. Сулейманов

Науч. рук.д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elnar.sulejmanov@mail.ru

В данной статье рассматриваются актуальные способы подготовки топлива на основе биомассы и их применение для сжигания в различных схемах ПГУ. Проанализированы основные схемы энергетического использования биомассы. Также рассматриваются главные особенности одной из схем ПГУ.

**Ключевые слова:** биомасса, сжигание, газификация биомассы, возобновляемые источники энергии, схемы ПГУ, синтетический газ.

## USE OF BIOMASS IN PGU SCHEMES

E.V. Suleymanov  
KSPEU, Kazan, Russia  
elnar.sulejmanov@mail.ru

This article discusses the current methods of biomass-based fuel preparation and their application for combustion in various PGU schemes. The main schemes of energy use of biomass are analyzed. The main features of one of the PGU schemes are also considered.

**Keywords:** biomass, combustion, biomass gasification, renewable energy, PGU schemes, syngas.

Появление тенденции газификации биомассы, органических отходов часто бывает сильно затратным, для производства вторичной энергии, но одним их главных преимуществ является то, что биомасса замещает ископаемые топлива, что очень хорошо сказывается на окружающей среде.

Самый преобладающий на сегодняшнее время метод применения твердого топлива в энергетических целях, складывается из двух стадий: предварительной переработки исходного сырья в энергетические гранулы (пеллеты) и сжигания данных гранул в котлах утилизаторах. На первой стадии существенно повышается энергосодержание сырья и уменьшаются расходы, связанные с его транспортировкой. К тому же имеет место быть наиболее целесообразная предварительная конверсия углеродсодержащего топлива в газообразное или жидкое состояние с последующим его использованием в энергоагрегатах на базе газопоршневых или газотурбинных двигателей. Также сильно распространен способ получения синтетического газа (смесь водорода и монооксида углерода) с помощью пиролиза или газификации твердого топлива. Практически из любого органического продукта, может быть получен синтез-газ [1].

Эффективность выработки электрической энергии в газотурбинной установке (ГТУ) на основе технологического газа на 10–15% выше, чем при прямом сжигании углеродсодержащего топлива с паросиловым циклом. Сам синтез-газ оказывается более перспективным для использования в ПГУ, так как его объемная доля горючей практически в 3 раза превышает объемную долю газа, полученного при прямом сжигании в газогенераторе [2].

Существуют различные схемы энергетического использования биомассы, в данной работе рассмотрим наиболее перспективные:

1. Схема с газификацией биомассы и сжиганием генераторного газа в камере сгорания ГТУ [2].

2. Использование дополнительного котла (параллельная схема), в котором сжигается биомасса, затем пар направляется в общий паропровод и на ПТ [3].

3. Использование газов после газовой турбины в котле, где сжигается биомасса [4].

Одним из примеров сжигания биомассы является данная схема: первичное сырье после осушки отправляется в газогенератор, туда под давлением 20 атмосфер подается пар и воздух для того, чтобы произошел процесс термической конверсии. Уже очищенный газ идет в газовую турбину, с которой на одном валу стоит воздушный компрессор. После газовой турбины, дымовые газы отправляются в котел-утилизатор [5].

В первом пункте продемонстрирована технологическая схема ПГУ на основе газификации древесных отходов. Особенности данной схемы:

- отсутствие сушильной установки для биомассы;
- использование физической теплоты генераторного газа для нагрева сжатого воздуха в теплообменнике;
- отсутствие дополнительного воздушного компрессора под двигателем;
- применение эжектора для разгона воздуха с помощью перегретого пара [2].

Эффективность ПГУ в показанных схемах может приближаться к 52% при удельном расходе биомассы 0,39 кг/(кВт·ч). Параметры для газификации древесных отходов: коэффициент расхода воздуха – 0,29, перегретый пар – 0,19 кг/кг(биомассы), давление в реакторе – 27,1 атм., влажность биомассы – 11 %.

### **Источники**

1. Исламова С.И. Исследование эффективности преобразования энергии при термической утилизации древесной биомассы / С.И. Исламова, Е.К. Вачагина // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. №9-10. С. 5-6.

2. Марьяндышев П.А. Исследование процессов термического разложения биотоплива и разработка способов повышения эффективности его энергетического использования / П.А. Марьяндышев, А.А. Чернов, В.К. Любов // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. - №1. – С.23-26.

3. Айтызан А.А., Строгонов К.В., Федюхин А.В. Разработка системы газификации древесных отходов с выработкой электроэнергии. – 2018. – № 8–3. – С.66-68.

4. Потапов В.Н., Костюнин В.В., Ханова А.С., Саутченко Н.И. Анализ схем подачи генераторного газа их биомассы и отходов для сжигания в камерных топках котлов // Современная наука. – 2012. – №3. – С.62-72.

5. Батенин В.М., Иванов П.П., Ковбасюк В.И. Повышение термодинамической эффективности использования биотоплива в энергоисточниках распределенной генерации // Теплофизика высоких температур.– 2017. № 1. – С.76-80.

УДК 621.548

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГАЗОВОЙ ТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ**

Э.Р. Тагиров

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zainer13062003@gmail.com

Чтобы повысить эффективность газотурбинной электростанции комбинированного цикла (ПГУ), были предложены новые инновационные решения для увеличения тепловой мощности.

**Ключевые слова:** газовая турбина комбинированного цикла, неиспользованная энергия, эффективность, централизованное теплоснабжение.

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF A COMBINED-CYCLE TURBINE PLANT**

E.R. Tagirov

KSPEU, Kazan, Russia

zainer13062003@gmail.com

In order to increase the efficiency of a combined cycle gas turbine power plant (CCGT), new innovative solutions were proposed to increase thermal power.

**Keywords:** Combined cycle gas turbine; Unused energy; Efficiency; Centralized heat supply.

Высокая энергоэффективность и экологичность комбинированных систем отопления и выработки электроэнергии (ТЭЦ) в настоящее время широко используются в качестве средства увеличения общего энергопотребления на электростанциях. Многие страны сосредоточили внимание на преимуществах технологий систем ТЭЦ, газотурбинная установка комбинированного цикла на сжиженном природном газе электростанции обладают наибольшей эффективностью [1-3]. Однако энергоэффективность этих систем может быть дополнительно повышена, например, за счет усиления рекуперации неиспользованной энергии, ее преобразования в доступную энергию и разгрузки компрессора. Исследователи сосредоточились на этой неиспользованной энергии, чтобы повысить первичную энергоэффективность всей системы. Основной целью настоящего исследования было утилизировать неиспользованную энергию из циркуляции ПГУ-ТЭЦ, поскольку это энергоснабжение стабильно и зависит от географических факторов. Задача: внести значительные изменения которые могут повлиять на энергоэффективность комбинированных установок [4-6].

На данный момент современные ПГУ имеют следующие недостатки: жесткая связь между мощностью ГТУ и паротурбинным энергоблоком; сложность тепловой схемы, т.к. для утилизации теплосодержания выхлопа ГТУ используется паротурбинный блок; снижается КПД паротурбинного блока, т.к. снижается регенерация из-за важности охлаждения выходящих газов, используется часть питательной воды, избегая регенеративные подогреватели.

Новым в предлагаемом техническом решении повышения эффективного КПД ПГУ [7, 8] и единичной мощности ГТУ и ПТУ является разгрузка компрессора, которая обеспечивает: сжигание топлива в камере сгорания газовой турбины с избытком воздуха 1,1-1,5; снижение температуры сжимаемого воздуха посредством испарения впрыскиваемого конденсата до 8% от количества сжимаемого воздуха, охлажденного подпиточной водой водоподготовки тепловой электростанции; замещение избытка воздуха в рабочем теле турбины, необходимого для снижения температуры рабочего тела на вход в турбину водяным паром котла-утилизатора и регенеративного отбора паротурбинного энергоблока.

Влияние рекуперации: 1) Количество скрытого рекуперация тепла может быть увеличена за счет снижения температуры циркулирующей воды, что увеличивает тепловой поток за счет изменения коэффициента теплопередачи. 2) Водяной конденсат из выхлопных газов, являющийся побочным продуктом рекуперации скрытого тепла, растворяет такие

компоненты выхлопных газов, как NO, SO, CO и пыль, которые в противном случае были бы выброшены в атмосферу. Такое растворение очень выгодно с экологической точки зрения, поскольку уменьшает количество выбрасываемых загрязняющих веществ. 3) Также внедрение более качественного оборудования для рекуперации окупит себя быстрее, чем менее качественное, потому что выдерживает большие нагрузки, а следовательно и способствует увеличению мощности ТЭЦ.

Данные способы повышения эффективности ПГУ имеют возможность быть задействованы в модернизациях нынешних установок, что значительно увеличит мощность всех комбинированных ТЭЦ [9].

### **Источники**

1. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

2. Осипов Б.М., Титов А.В., Перельштейн Б.Х. Исследование характеристик турбовального газотурбинного двигателя с отбором рабочего тела для функционирования газодинамического лазера // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 65-68. EDN YGTHLR.

3. Шишин А.А., Титов А.В., Осипов Б.М., Кривоносова В.В. Исследование впрыска воды и подвода пара в проточную часть энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9-10. С. 47-51. EDN PLRDHL.

4. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.

5. Мингалеева Г.Р., Шамсутдинов Э.В., Ермолаев Д.В. и др. О механизме влияния тонкодисперсной фракции угля на реологические свойства водоугольных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2013. № 6(580). С. 3-7. EDN SQVQWL.

6. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Комплексное использование торфа на основании молекулярного состава его органической массы // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 3-13. EDN ZIXFEJ.

7. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. О возможности производства энергии и побочных продуктов на автономных источниках энергоснабжения, работающих на твёрдом топливе // Энергетик. 2013. № 12. С. 035-038. EDN RUBOBB.

8. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

9. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

УДК 621.311

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАНЦИЙ ЗА СЧЕТ УСТАНОВКИ ГАЗОТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

С.А. Тараскин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sergey663322@gmail.com

В статье рассмотрены способы повышения эффективности энергетических станций за счет современного газотурбинного оборудования. Показаны преимущества и недостатки перехода на ПГУ.

**Ключевые слова:** парогазовые установки, газотурбинные установки, тепловые энергетические станции.

## **INCREASING THE EFFICIENCY OF PLANTS THROUGH THE INSTALLATION OF GAS TURBINE EQUIPMENT**

S.A. Taraskin

KSPEU, Kazan, Russia

sergey663322@gmail.com

The article discusses ways to improve the efficiency of power plants through modern gas turbine equipment. The advantages and disadvantages of switching to CCGT are shown.

**Keywords:** combined cycle plants, gas turbine plants, thermal power stations.

Паротурбинные установки (ПТУ) составляют основу современной теплоэнергетики. Одним из главных достоинств паротурбинных ТЭС является возможность создания установок большой единичной мощности (до 1000 МВт и выше) и использования всех видов топлива, включая ядерное. Тем не менее, в Российской Федерации к 2030 году на тепловых электрических станциях (ТЭС) планируют ввести в эксплуатацию парогазовые установки утилизационного типа (ПГУУ), что обусловлено их высоким КПД, маневренностью и умеренной удельной стоимостью. ПГУ — относительно новый вид станций, работающих на газовых или жидких топливах. Классическая схема ПГУ работает следующим образом. Основу составляют газотурбинная (ГТУ) и паросиловая (ПС) установки. В ГТУ движение вала турбины происходит за счет образовавшихся при сжигании природного газа, мазута или солярки продуктами горения — газами. Отработанные продукты горения, образующиеся в камере сгорания газотурбинной установки, вращают ротор турбины и крутят вал первого генератора. Однако в первом цикле он составляет всего 38% от максимального КПД, который был достигнут в цикле ПТУ. Под высокой температурой продукты горения, которые были уничтожены в ГТУ, поступают в котел-утилизатор, где пар нагревается до показаний температуры и давления (500 °С и 80 атм.), чтобы использовать паровую турбину, соединенную с еще одним генератором. Во втором, паросиловом, цикле используется уже 20% энергии сгоревшего топлива. В сумме КПД оказывается равен 58%, что во много раз превышает КПД паровой турбины. ПГУ позволяет снизить себестоимость производства электроэнергии. Газовые турбины вырабатывают электроэнергию со значительно меньшим количеством топлива, чем традиционные методы, что приводит к снижению эксплуатационных расходов [1-3]. Кроме того, использование газовых турбин может сократить выбросы парниковых газов, помогая достичь целей инициатив по борьбе с изменением климата. Газовые турбины также чрезвычайно надежны и требуют меньше обслуживания, чем другие типы оборудования для производства электроэнергии [3-5]. Они созданы для работы в различных условиях и могут работать в течение длительного периода времени без необходимости обслуживания. Это сокращает время простоя и повышает эффективность электростанций. Также парогазовые установки используют гораздо меньше воды на единицу вырабатываемой электроэнергии в сравнении с ПТУ. Использование газовых турбин может повысить эффективность электростанций, позволяя им работать при более высоких температурах. Это может помочь повысить эффективность установок, а также сократить



выбросы. Наконец, газовые турбины чрезвычайно универсальны и могут использоваться для выработки электроэнергии различными способами. Их можно использовать для дополнения существующих источников энергии или в качестве автономных электростанций. Это позволяет адаптировать электростанции к конкретным потребностям, дополнительно повышая эффективность (см. рисунок). У этих установок есть лишь два основных недостатка, необходимость в фильтрации воздуха, нужного для сжигания топлива и ограниченность в плане выбора используемого топлива. Как правило, в качестве основного топлива в ПГУ используется природный газ, а резервного - дизельное. Возможно и применение угля, но это сильно удорожает строительство таких электростанций.

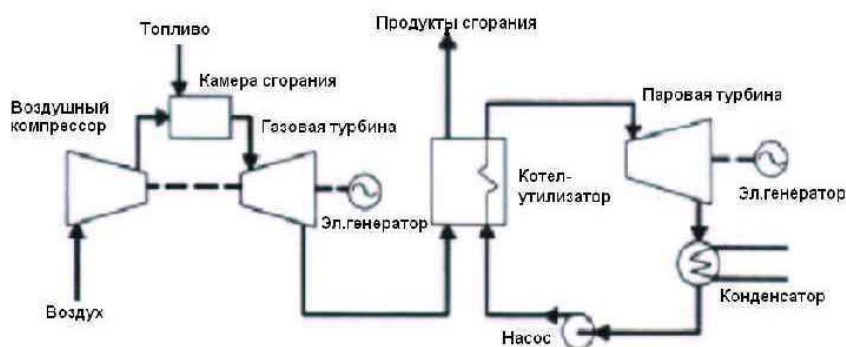


Схема работы ПГУ

Есть несколько способов повысить эффективность ГТУ: форсирование параметров цикла; усложнение термодинамического цикла; впрыск воды, водяного пара в проточную часть ГТУ [2-4].

В заключение можно сказать, что установка газотурбинного оборудования может помочь электростанциям стать более эффективными и надежными. Это также может снизить затраты и выбросы, обеспечивая при этом универсальный и надежный источник энергии. Это делает его привлекательным вариантом для электростанций, стремящихся повысить свою эффективность и достичь своих целей в области устойчивого развития.

### Источники

1. Титов А.В., Осипов Б.М., Хамматов А.Р. и др. Применение программного комплекса ГРАД для исследований стационарных энергетических установок // Тяжелое машиностроение. 2009. № 6. С. 9-11.

2. Титов А.В., Осипов Б.М. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 4(36). С. 17-21. EDN XPHWDB.

3. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Инструментальная среда исследования газотурбинных установок // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 1. С. 22-25. EDN KPSXOT.

4. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Титов А.В., Гафуров Н.М. Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок // Энергетика Татарстана. 2015. № 3(39). С. 20-25. EDN UJZEYR.

5. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Исследование энергетических газотурбинных приводов на основе математических моделей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2010. № 1. С. 45-47. EDN LPSFJB.

УДК 665.62

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СТАДИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТИПА**

В.М. Теплов<sup>1</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент С.А. Лаптев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>slava.teplov.2014@mail.ru, <sup>2</sup>laptserga@yandex.ru

Предложен вариант интенсификации стадии предварительной подготовки обводненной нефти с удалением из продукции скважин механических примесей, растворенных солей, воды и разрушением водонефтяных эмульсий с использованием аппаратов центробежного типа.

**Ключевые слова:** подготовка нефти, интенсификация, центробежные аппараты.

# INTENSIFICATION OF THE OIL PRETREATMENT STAGE USING CENTRIFUGAL TYPE APPARATUSES

V.M. Teplov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>KNRTU, Kazan, Russia

slava.teplov.2014@mail.ru

A variant of intensification of the stage of preliminary preparation of watered oil with the removal of mechanical impurities, dissolved salts, water from the production of wells and the destruction of oil-water emulsions using centrifugal-type apparatuses is proposed.

**Keywords:** oil preparation, intensification, centrifugal apparatuses.

Интенсификация подготовки нефти, как часть системы промышленного обустройства может существенно сократить капитальные и эксплуатационные расходы.

Современные предложения заводов по изготовлению оборудования для подготовки нефти, в большинстве случаев основаны на использовании традиционных конструкций аппаратов в которых процессы сепарации протекают в поле гравитационных сил. Данное оборудование отличается большими габаритами и высокой металлоемкостью.

В продукциях скважин с высокой обводненностью от 35 % до 85 % имеют место устойчивые водонефтяные эмульсии [1], содержащие механические примеси, соли в виде кристаллов в нефти и растворенные в воде.

К способам разрушения водонефтяных эмульсий относятся: нагрев, добавления реагента-деэмульсатора с последующим перемешиванием и отстоем, транспортировка с реагентом по трубопроводу [2], применение ультразвука [3]. Имеются также исследования о разрушении водонефтяных эмульсий при перемешивании её с легкой фракцией нефти, полученной при гидроциклонировании первичной продукции скважин. При этом наблюдалось снижение реагента-деэмульсатора [4].

Аппараты центробежного типа можно использовать для организации в одном агрегате комбинации различных избирательных зон для удаления с высокой интенсивностью твердых частиц, отдельных примесей, также проводить интенсивную сепарацию жидкостей с разной плотностью [5].

В предлагаемом варианте обессоливания и обезвоживания нефти с интенсивным разрушением эмульсии используется комбинация гидроциклона и центробежного агрегата. При подаче продукции скважины в гидроциклон сначала отделяется основная часть твердой фазы и выходящая вверх жидкая фаза отбирается послойно. Легкая жидкая фаза

собирается в промежуточной емкости и затем в нужной пропорции подается в центробежный агрегат [6] для смешения с реагентом-деэмульсатором, пресной водой и основной частью промежуточного слоя водонефтяной эмульсии. Наружные стенки центробежного агрегата снабжены рубашкой для подогрева смешиваемых компонентов. Из зоны интенсивного перемешивания смесь подается в нижнюю часть агрегата, где находится гидроциклон. В гидроциклоне происходит дополнительное удаление твердой фазы и возврат частично расслоившейся эмульсии на окончательное разделение в зону центрифугирования. На выходе из зоны центрифугирования имеется три отвода: вода, содержащая растворенные соли, легкая фракция нефти и основная масса обессоленной и обезвоженной нефти. Эти фракции выводятся из центробежного агрегата за счет скоростного напора, создаваемого в напорных трубках. Часть легкой фракции в виде рецикла поступает на вход центробежного агрегата, для уменьшения подачи реагента-деэмульсатора и ускорения процесса расслоения эмульсии.

Возможность осуществления рециркуляции жидкости в центробежном агрегате без дополнительного насоса была проведена авторами в работе [7].

### **Источники**

1. Халилова Г.А., Яркеева Н.Р. Методы борьбы с нефтяными эмульсиями при добыче нефти. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. № 5 (121). С. 28-32.
2. Ширеев А.И., Тронов В.П., Сахабутдинов Р.З., Мухаметгалеев Р.Р. Перспективные технологии подготовки продукции скважин на месторождениях Татарстана // Нефтяное хозяйство. 2003. № 3. С. 88-90.
3. Способ переработки эмульсии водонефтяного промежуточного слоя. Патент на изобретение RU 2177025 С2, 20.12.2001. Заявка № 99124331/04 от 19.11.1999.
4. Муринов С.И. Интенсификация процессов подготовки продукции скважин нефтяных и газовых месторождений путем гидроциклонирования автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17, Уфа, 2005. 24 с.
5. Набиуллина М.Ф., Лаптев С.А. Разработка рациональной компоновочной схемы установи регенерации отработанного масла. В сборнике: Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2020. С. 204-207.
6. Набиуллина М.Ф., Лаптев С.А. Разработка устройства очистки отработанного масла В сборнике: Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика

и цифровая трансформация". Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2022. С. 306-309.

7. Теплов В.М., Лаптев С.А. Разработка узла технологической схемы регенерации отработанного масла. В сборнике: Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация". Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2022. С. 325-327.

УДК 620.92

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ**

С.Е. Титов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

semen\_titov\_2003@mail.ru

В исследовании рассматривается возможность развития возобновляемых источников энергии Оренбуржья, выяснено, какие виды альтернативных источников энергии являются более выгодными в условиях Оренбургской области с учётом её географического положения.

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, Оренбургская область, перспектива.

## **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ENERGY IN THE ORENBURG REGION**

S.E. Titov

KSPEU, Kazan, Russia

semen\_titov\_2003@mail.ru

In study considers the possibility of developing renewable energy sources in Orenburg region, find out which types of alternative energy sources are more profitable in the conditions of the Orenburg region, taking into account its geographical location.

**Keywords:** alternative energy, Orenburg region, perspective.

К экологически чистому производству энергии стремятся во всем мире [1-3]. Большая часть мировых потребностей в энергии удовлетворяется за счет традиционных источников, таких как уголь, нефть

и газ [4-5]. Выработка энергии таким способом негативно влияет на экологию, поэтому многие страны, в том числе Россия, стремятся к переходу на нетрадиционные источники, такие как энергия солнца, ветра и приливов. В Оренбургской энергосистеме, например, на различные возобновляемые источники энергии (ВИЭ) приходится около 3,7% выработки электроэнергии [1]. Рассмотрим перспективы развития зелёной энергетики в Оренбуржье. Важно отметить, что ВИЭ необходимо выбирать с учетом фактической нагрузки [6-8].

Во многих областях России развитие альтернативной энергетики невозможно из-за отсутствия источников или нерациональности их вовлечения в энергосистему. Большую часть территории Оренбургской области занимает степная ботанико-географическая зона, поэтому она имеет ряд преимуществ. Степная зона, благодаря своему географическому положению и широте, имеет широкие перспективы в развитии зелёной энергетики. Основными видами альтернативных источников энергии в степных зонах являются солнечная энергия, ветровые ресурсы, сельскохозяйственные отходы и малые реки.

Большая широтная протяженность степной зоны обеспечивает изменение потока солнечной радиации на поверхность от 3 кВт\*ч/м<sup>2</sup> в день на севере до 5 кВт\*ч/м<sup>2</sup> в день на юге.

Также большое значение для использования солнечной энергии имеют сезонные колебания, так как степная зона характеризуется расположением в высоких широтах, то, к примеру на 55° с. ш. солнечная радиация в январе составляет 1,69 кВт ч/м<sup>2</sup>, а в июле - 11,41 кВт-ч/м<sup>2</sup> в день.

Таким образом, Оренбургская область является эффективной для развития солнечной энергетики, тем более, что на данный момент в Оренбуржье работает несколько СЭС, например, Сорочинская и Новосергиевская, суммарная вырабатываемая мощность которых составляет 105 МВт.

Другой разновидностью альтернативной энергетики является ветроэнергетика. Многие районы Оренбуржья имеют достаточные условия для развития данной области. Здесь преобладает континентальный климат, характеризующийся порывистыми ветрами, а среднегодовая скорость ветра составляет 3-5 км/ч. На 2022 год в Оренбургской области с помощью ветряных электростанций было выработано 2,7 МВт электроэнергии.

Довольно перспективной отраслью является биоэнергетика, представляющая собой производство энергии из растительного или животного сырья. Оренбуржье является одним из ведущих

агропромышленных регионов. Благодаря интенсивным сельскохозяйственным освоениям, в Оренбургской области накапливаются растительные биомассы и отходы животноводства, которые в перспективе могут служить сырьём для изготовления биотоплива.

Таким образом, Оренбуржье имеет хорошие перспективы в развитии альтернативной энергетики за счёт своих преимуществ. Дальнейшее развитие зелёной энергетики в этой области позволит сократить получение энергии традиционным способом и положительно повлияет на экологию.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

3. Осипов Б.М., Титов А.В., Перельштейн Б.Х. Исследование характеристик турбовального газотурбинного двигателя с отбором рабочего тела для функционирования газодинамического лазера // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. № 3. С. 65-68. EDN YGTHLR.

4. Шишин А.А., Титов А.В., Осипов Б.М., Кривоносова В.В. Исследование впрыска воды и подвода пара в проточную часть энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2012. № 9-10. С. 47-51. EDN PLRDHL.

5. Титов А.В., Осипов Б.М., Николаева Н.В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 2(34). С. 43-49. EDN ZTEJWF.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

7. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. EDN MBYUSE.

8. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

УДК 620.92

## РАЗВИТИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В.Р. Федорова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Fedorovaviktoria@icloud.com

В статье рассмотрены возможности прогресса геотермальной энергетики в Исландии, Тюменской области, России, на Камчатке, Алтайском крае.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика, перспектива, развитие, энергия.

## DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL ENERGY

V.R. Fedorova

KSPEU, Kazan, Russia

fedorovaviktoria@icloud.com

The article considers the possibilities of the progress of geothermal energy in Iceland, the Tyumen region, Russia, Kamchatka, and the Altai Territory.

**Keywords:** geothermal energy, perspective, development, energy.

На данный момент геотермальная энергетика является перспективной отраслью энергетики России. Объем энергии абсолютно всех мировых запасов нефти и природного газа в 50 раз меньше объема всего тепла Земли, сконцентрированного под толщей земной коры на глубине 10 км, как прогнозируют специалисты. Геотермальные воды в Российской Федерации имеют место на острове Сахалин, Курильских



островах, полуострове Камчатка, в Краснодарском и Ставропольском краях, в республиках Ингушетия, Дагестан. Сегодня существует несколько правительственных программ, направленных на развитие данной отрасли [1-2].

Геотермальный вид энергетики, самый безобидный и перспективный в использовании и практически его можно использовать в любой точке Земли. Чтобы при помощи тепловой машины преобразовать энергию тепла в электроэнергию, температура геотермальных вод должна быть достаточно большой, а КПД какой-либо тепловой машины не сильно высокое. Поэтому чем больше температура воды, тем больше выход электроэнергии. Для того чтобы электроэнергия вырабатывалась температура геотермальной воды, должна быть не ниже 150°C, а для отопления и горячего водоснабжения 50°C и выше. Температура геотермальных вод растет очень медленно с увеличением глубины (приблизительно 30°C на 1 км), поэтому глубина скважины должна быть не меньше 1 километра, а для выработки электроэнергии она должна быть длиной в несколько километров. Бурение таких глубоких скважин обходится не дешево, помимо этого, на перекачку теплоносителя по ним тоже требуется затратить энергию, поэтому практически все крупные ГеоЭС расположены в местах повышенной вулканической активности, в которые Тюмень не входит. Поэтому использование геотермальной энергетики в Тюменской области экономически невыгодно и нецелесообразно [3].

Камчатский край по использованию геотермальных ресурсов находится на первом месте в России. Здесь сосредоточены самые высокоэффективные природные геотермальные источники. В них температура достигает 240 °C на глубине в 1-2 км., а в слоях, находящихся глубже – более 300 °C. Использовать геотермальные ресурсы на Камчатке можно по двум направлениям: получению электрической энергии на высокотемпературных геотермальных месторождениях и теплообеспечения за счет использования низкотемпературных геотермальных месторождений. На сегодняшний день на территории Камчатки эксплуатируются 3 геотермальные электростанции [4].

Одной из лидирующих стран по использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является Исландия. Использование геотермальной энергии в этой стране с каждым годом увеличивается, и в будущем ее доля может возрасти до 92%. Геотермальные и водные источники энергии считаются возобновляемыми в отличие от углеводородного топлива и их тепло менее разрушительно для

окружающей среды. Геотермальная энергетика, кроме экологических и экономических преимуществ, оказывает благоприятное воздействие на общественную жизнь в Исландии. Люди предпочитают жить в тех районах, где есть возможность использования геотермального тепла. Статистика показывает улучшение здоровья граждан в этих областях.

Перспективы использования геотермальной энергии в Алтайском крае довольно ограничены. Использование термальных источников возможно лишь в районе города Белокуриха, Камня-на-Оби, села Черновая, Калманка и реки Большая Сычёвка. Для частных домов, торговых центров, зданий школ и других объектов наиболее экономически выгодным будет являться использование тепловых насосов [5].

Итак, геотермальная энергетика постоянно развивается и имеет определенный темп распространения. На сегодняшний день такой вид энергетика имеет большой запас ресурса, поэтому его можно уверенно использовать в будущем. За счет больших затрат на бурение глубоких скважин для добычи энергии тепла и особенной технологии добывания данный вид источников не пользуется популярностью в некоторых странах.

Учитывая ограниченность и не экологичность ресурсов, которые в основном используются на данный момент в добыче энергии, геотермальная энергетика является хорошей их альтернативой. С усовершенствованием технологии добычи и появлению новых идей данный вид энергетика сможет популяризироваться и использоваться на много чаще в еще большем количестве стран.

### **Источники**

1. Коверина А.Ю., Кретьова М.А. Перспективы развития геотермальной энергетика в России // <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32345402> (дата обращения: 26.02.2023).

2. Жилкина Ю.В. Развитие электроэнергетика: вертикальная интеграция или дальнейшая либерализация отрасли? // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2018. Т. 10. № 2(38). С. 106-113. EDN VVXMIS.

3. Сунцов С.Н. Перспективы развития геотермальной энергетика в Тюменской области // <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50064880> (дата обращения: 26.02.2023).

4. Головизнина О.И., Черкаев Г.В. Перспективы использования геотермальной энергетика на Камчатке // <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50181662> (дата обращения: 26.02.2023).

5. Решетов И.П. Развитие геотермальной энергетики в Исландии // <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44505113> (дата обращения: 26.02.2023).

УДК 621.01

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ COMSOL MULTIPHYSICS ДЛЯ РАСЧЕТОВ В ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ**

А.А. Филимонов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Л.Ш. Хакимуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[vip.jokermigel@mail.ru](mailto:vip.jokermigel@mail.ru)

В работе представлен пример по решению задачи в технической механике. Предложена готовая программа для оптимизации расчетов в данной области.

**Ключевые слова:** техническая механика, COMSOL, напряжение.

## **APPLICATION OF SOFTWARE FOR CALCULATIONS COMSOL MULTIPHYSICS IN TECHNICAL MECHANICS**

A.A. Filimonov

KSPEU, Kazan, Russia

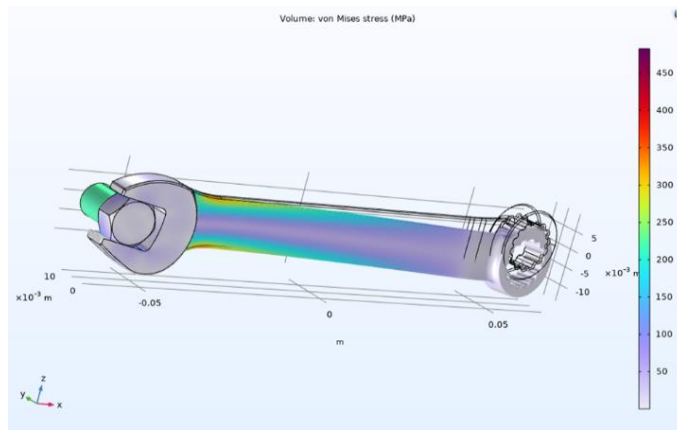
[vip.jokermigel@mail.ru](mailto:vip.jokermigel@mail.ru)

The paper presents an example of solving a problem in technical mechanics. A ready-made program for optimizing calculations in this area is proposed.

**Keywords:** technical mechanics, COMSOL, tension.

В настоящее время все больше расчетов происходит не вручную, а с помощью программных обеспечений, например, Ansys и COMSOL Multiphysics, облегчающие процесс решения задачи и дающие более точные результаты. Обе программы имеют ряд достоинств и недостатков. Со своими основными задачами, а именно, моделированием и расчетами, программы справляются одинаково хорошо. Однако, если брать во внимание остальные аспекты данного сравнения, то пакет COMSOL Multiphysics является более предпочтительным. Во многом это связано со стоимостью продукта, которая в разы меньше, чем у Ansys, а также COMSOL имеет более приятный и понятный интерфейс. Такая программа как COMSOL Multiphysics версии 6.1 позволяет решить задачи в разных

областях науки и техники, в том числе стандартные задачи технической механики. Как пример, можно взять гаечный ключ за конец гнезда и приложить усилие, чтобы повернуть его по часовой стрелке, однако, поскольку болт зафиксирован на месте, ключ согнется. Для расчетов напряженного состояния используется классическая теория балки, идеализируя данный ключ как консольную балку. Программное обеспечение COMSOL создает график по умолчанию на основе собственного физического моделирования [1]. В нашем случае использования модуля задач технической механики программа показывает результаты напряжения, которые представлены на рисунке.



Результаты напряжения

Для расчетов напряженного состояния ключа были приняты следующие условия для расчета (1-9):

1. Linear Elastic Material:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \nabla \cdot S + FV \quad (1)$$

$$S = S_{inel} + S_{el}, \varepsilon_{el} = \varepsilon - \varepsilon_{inel} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{inel} = \varepsilon_0 + \varepsilon_{ext} + \varepsilon_{th} + \varepsilon_{hs} + \varepsilon_{pl} + \varepsilon_{cr} + \varepsilon_{vp} + \varepsilon_{ve} \quad (3)$$

$$S_{el} = \frac{C}{\varepsilon_{el}} \quad (4)$$

$$S_{inel} = S_0 + S_{ext} + S_q \quad (5)$$

$$\varepsilon = 0,5 \left[ (\nabla u)^T + \nabla u \right], \quad (6)$$

где  $\varepsilon_{el}$  – упругая деформация,  $\varepsilon$  - тензор полной деформации,  $\varepsilon_{inel}$  - неупругая деформация,  $S_0$  - начальное напряжение,  $C$  – тензор упругости четвертого порядка,  $S_{ext}$  – внешнее напряжение,  $S_q$  – напряжение (вязкое демпфирование),  $\varepsilon_0$  – начальная деформация,  $\varepsilon_{th}$  – термическая

деформация,  $\varepsilon_{hs}$  – гигроскопическая деформация,  $\varepsilon_{pl}$  – пластическая деформация,  $\varepsilon_{cr}$  – деформация ползучести,  $T$  – температура.

2. Boundary Load:

$$S \cdot n = F_A \quad (8)$$

$$F_A = \frac{F_{tot}}{A}, \quad (9)$$

где  $n$  – вектор нормали к внешней поверхности,  $F_A$  – нагрузка, определяемая как усилие на единицу площади,  $F_{tot}$  – общая сила,  $A$  – площадь поперечного сечения [2].

За начальные параметры построения физической модели были взяты значения, указанные в таблице 1.

Таблица 1.

Начальные параметры построения

Имя	Параметр	Значение	Описание
$F_{tot}$	100 [N]	100.00 N	Сила
$Length$	0.12 [m]	0.12000 m	Длина
$M$	$F_{tot} \cdot Length$	12.000 N · m	Момент силы
$C$	$Ht / 2$	0.0063500 m	Расстояние от нейтральной оси до внешней границы балки
$B$	0.001778 [m]	0.0017780 m	Ширина
$I$	$B \cdot Ht^3 / 12$	3.0350E-10 m <sup>4</sup>	Момент инерции
$maxS$	$N \cdot C / I$	2.5107E8 N/m <sup>2</sup>	Максимальное напряжение
$Ht$	0.0127 [m]	0.012700 m	Высота балки

Изгиб на конце гнезда ключа также вызывает небольшое движение вокруг оси  $X$ , вызывая поворот гнезда вокруг оси  $X$ , что не учитывается ручным расчетом. Это скручивание по оси  $Y$  вокруг оси  $X$  создает максимальное напряжение слева от балки. Если осмотреть болт, то можно увидеть, что напряжение внутри него растет радиально.

Таким образом, компьютерное моделирование позволило воссоздать график напряжения и точный расчет задачи по строительной механике, что можно использовать для решения и более актуальных задач, оптимизируя процесс разработки проектов в данной области.

### Источники

1. Structural Mechanics Module [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<https://doc.comsol.com/5.5/doc/com.comsol.help.sme/StructuralMechanicsModuleUsersGuide.pdf> (дата обращения 27.02.2023);

2. Denis Chemezov, Svetlana Tyurina, Irina Pavluhina, Oleg Gorbatenko, Irina Medvedeva. Calculation of von mises stress at plastic deformation of a steel bushing // Theoretical and Applied Science. 2018. Т. С. 201 – 202.

УДК 621.3

## **ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ**

А.А. Хабибрахманова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

habibrakhmanova.adelina@mail.ru

В энергосистемах основную часть составляют тепловые и атомные электростанции, которые не могут оперативно уменьшать электропотребление или снижают ее с более большими потерями. В данной статье рассматриваются гидроаккумулирующие электростанции, использование которых экономически эффективно, их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** предельные нагрузки, электроэнергия, электростанция.

## **HYDRO-STORAGE POWER PLANTS, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES**

A.A. Khabibrakhmanova

KSPEU, Kazan, Russia

habibrakhmanova.adelina@mail.ru

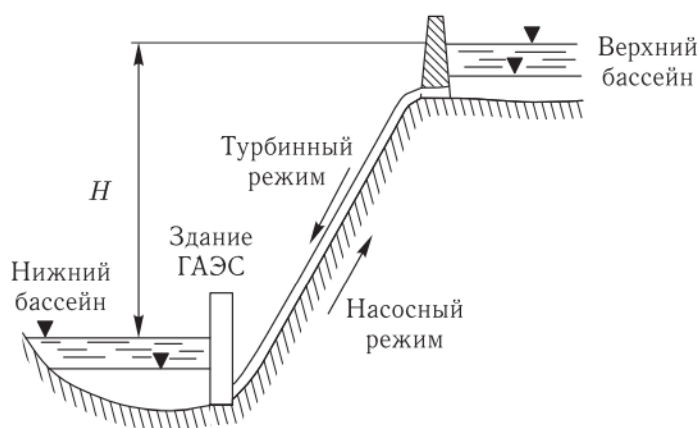
Energy systems consume a significant part of thermal and nuclear power plants, which cannot quickly reduce electricity consumption or reduce it with more significant losses. This article discusses pumped storage power plants using efficient economic technologies, their advantages and results.

**Keywords:** limit loads, electricity, power plant.

В работе электрических систем нет постоянной устойчивости в энергообеспечение покупателей. Предельные нагрузки зачастую возникают днем, а в ночное время использование электроэнергии

уменьшается, тем самым увеличивается ее стоимость. В такие моменты необходимо оперативно перейти из одного рабочего режима в другой. Но такие виды установок как тепловые и атомные не адаптированы за небольшое количество времени уменьшать мощность при быстром снижении потребления. Гидроаккумулирующие электростанции стали решением этой проблемы. Они служат для отдачи электроэнергии при предельных нагрузках и накопления ее ночью. Тем самым такая схема помогает увеличить подачу электроэнергии за сутки, а также происходит уменьшение перепадов электрической энергии.

Принцип работы возможен в нескольких режимах таких как насосный и турбинный. Рассмотрим первый режим в нем из нижнего бассейна вода перекачивается в верхнее водохранилище. Так же в насосном режиме во время работы потребляется вырабатываемая другими электростанциями электрическая энергия. А в турбинном режиме используется вода, запасенная в верхнем водохранилище, устройства ГАЭС вырабатывают при этом режиме электроэнергию, которая используется во время предельных нагрузках. Таким образом на гидроаккумулирующих электростанциях используются гидроагрегаты, которые могут работать как на турбинном, так и на насосном режиме (см. рисунок).



Гидроаккумулирующая электростанция

Основные достоинства и недостатки гидроаккумулирующих электростанций:

Достоинствами ГАЭС является то, что для их работы требуется вода, являющаяся возобновляемым ресурсом. Так же выработка энергии на ГЭС отличается высокой экологичностью, т. к. не сопровождается выбросами

вредных веществ. Устройства ГАЭС могут за короткое время изменять электрическую мощность.

Недостатком ГАЭС является то, что такие станции требуют специальные площадки, имеющие необходимую разность высот и количество места для бассейнов [1].

### **Источники**

1. Серебряков Н.И., Родионов В.Г., Кулешов А.П., Магрук В.И., Иванущенко В.С. Гидроаккумулирующие электростанции // Строительство и эксплуатация Загорской ГАЭС. 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://www.studmed.ru/serebryanikov-ni-rodionov-vg-kuleshov-ap-magruk-vi-ivanuschenko-vs-gidroakkumuliruyushie-elektrostancii-stroitelstvo-i-ekspluatatsiya-zagorskoy-gaes\\_96e66ac7450.html](https://www.studmed.ru/serebryanikov-ni-rodionov-vg-kuleshov-ap-magruk-vi-ivanuschenko-vs-gidroakkumuliruyushie-elektrostancii-stroitelstvo-i-ekspluatatsiya-zagorskoy-gaes_96e66ac7450.html) (Дата обращения: 27.02.2023).

УДК 621.311

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА НА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ, ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КПД И СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ**

Б.Р. Хабибуллин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

В статье предложено: использование биогаза для выработки электроэнергии. В последнее время предприниматели и инвесторы всё больше стали интересоваться вложениями в биоэнергетику, которая основана на воспроизводимых био-ресурсах. Так, уже более двадцати лет государства Центральной и южной Европы активно стали развивать получение электроэнергии из отходов животноводства, растениеводства, а также ТБО и канализационных стоков.

**Ключевые слова:** биогазовые станции, вид топлива.



# USE OF DIFFERENT FUEL TYPES IN MODERN POWER PLANTS TO INCREASE EFFECTIVENESS AND REDUCE EMISSIONS TO THE ATMOSPHERE

B.R. Khabibullin  
KSPEU, Kazan, Russia  
Bulat2323@inbox.ru

The article proposes: the use of biogas to generate electricity. Recently, entrepreneurs and investors have become more and more interested in investing in bioenergy, which is based on renewable bio-resources. Thus, for more than twenty years, the states of Central and Southern Europe have actively begun to develop the production of electricity from animal waste, crop production, as well as solid waste and sewage.

**Keywords:** biogas stations, type of fuel.

В последнее время предприниматели и инвесторы всё больше стали интересоваться вложениями в биоэнергетику и водород [1-3]. Так, уже более двадцати лет государства Центральной и южной Европы активно стали развивать получение электроэнергии из отходов животноводства, растениеводства, а также ТБО и канализационных стоков. Комплексное использование золошлаковых отходов и использования торфа в региональной энергетике [4, 5].

Для начала нужно понять, что такое биогаз. Биогаз – это газ, образующийся в процессе метанового разложения. Он производится чаще всего из отходов пищевой промышленности. При содержании метана 45–50% биогаз теоретически демонстрирует энергетический потенциал в размере 5 кВт\*ч/м<sup>3</sup>.

Принцип работы биогазовой станции заключается в следующем: Цикл разложения на биогазовой установке занимает 60 суток. Сырьё, используемое для дальнейшего разложения, поступает в ферментатор. Далее начинается первая стадия сбраживания. Метанообразующие бактерии, благодаря вращающейся лопасти, равномерно распределяются по используемому сырью, в результате чего образуется биогаз. Данный газ далее поступает в газгольдер, очищается в несколько этапов. Далее он сжимается компрессором и в конечном счете попадает в цилиндры газопоршневого двигателя, производящего электроэнергию.

Стоит рассмотреть плюсы и минусы данной технологии. К положительным сторонам можно отнести мусороперерабатывающий фактор. Ведь переработка органики в газ может поспособствовать

очищению окружающей среды от мусора. Также к плюсам можно отнести тот факт, что на выработку электроэнергии биогазовой станцией не влияют такие внешние факторы, как погодные условия, а работа станции полностью регулируется автоматикой [6-8]. Это способствует непрерывной выработке электроэнергии. К минусам можно отнести ограничивающий фактор, связанный с зависимостью выработки энергии от количества органических ресурсов. В случае недостатка необходимого количества отходов, для обеспечения работы биогазовой станции придётся выращивать растительное сырьё. Это повлечет за собой нерациональное использование сельскохозяйственных земель.

В ведущих странах, по оценкам Международного энергетического агентства, к 2040 году использование биогаза увеличится в 3 раза. Это означает, что потенциал биогазовых станций довольно велик.

### **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-
2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С.
3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-
4. Тимофеева С. С. Мингалеева Г.Р. Перспективы использования торфа в региональной энергетике / С. С. Тимофеева, // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325. № 4. С. 46-55. EDN
5. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р., Добронравов А.Д., Шамсутдинов Э.В. Комплексное использование золошлаковых отходов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 26-36. EDN UYCPJT.
6. Титов А.В., Осипов Б.М., Хамматов А.Р. и др. Применение программного комплекса ГРАД для исследований стационарных энергетических установок // Тяжелое машиностроение. 2009. № 6. С. 9-11.

7. Титов А.В., Осипов Б.М. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 4(36). С. 17-21. EDN XPHWDB.

8. Осипов Б.М., Титов А.В., Хамматов А.Р. Инструментальная среда исследования газотурбинных установок // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 1. С. 22-25. EDN KPSXOT.

УДК 621.8-1/-9

## **МАТЕРИАЛЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ В КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

И.Ф. Хабибуллин

Науч. рук. канд. тех. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

ildar.khabibullin003@mail.ru

В статье представлена информация о результатах исследования свойств сплавов с эффектом памяти, рассмотрены механические характеристики данных материалов. Приведены примеры использования деталей из сплавов с ЭФП в современном производстве, также представлена информация о перспективе использования данной технологии при создании деталей газотурбинных установок и производстве турбин.

**Ключевые слова:** эффект памяти формы, никелид титана, никельтитан, машиностроение, муфта, турбина.

## **SHAPE MEMORY MATERIALS IN STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF ENGINEERING PRODUCTS**

I.F. Khabibullin

KSPEU, Kazan, Russia

ildar.khabibullin003@mail.ru

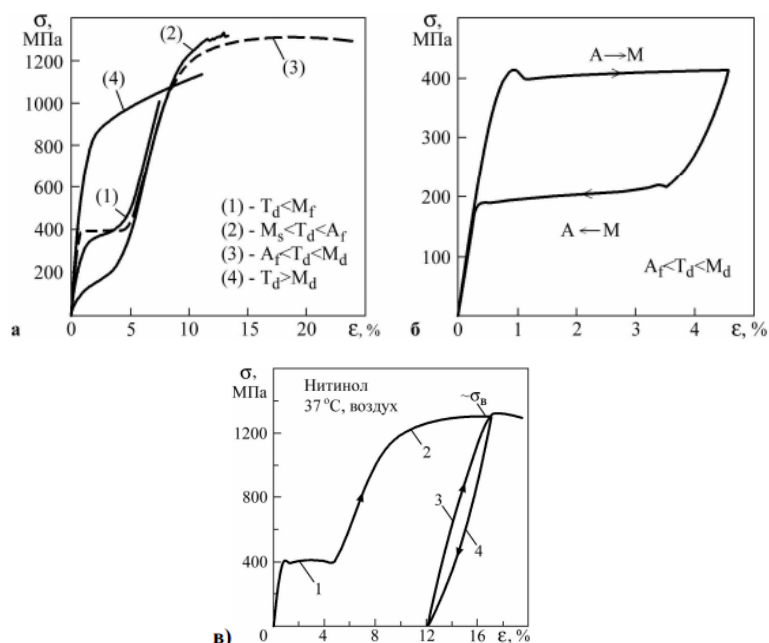
The article presents information on the results of studying the properties of alloys with a memory effect, and considers the mechanical characteristics of these materials. Examples of the use of parts made of alloys with EPM in modern production are given, information is also provided on the prospects for using this technology in the creation of parts for gas turbine installations and the production of turbines.

**Keywords:** shape memory effect, titanium nickelide, nickeltitanium, mechanical engineering, clutch, turbine.

В последние годы широкое применение в машиностроении находят материалы с эффектом памяти формы (ЭПФ). Чаще всего эти материалы используют для термомеханических соединений, изготовления сборочных муфт трубопроводов и т.д.

Эффект памяти формы – это явление возврата к первоначальной форме при повышении температуры, которое наблюдается у некоторых материалов после предварительной пластической деформации.

Особенностями материалов с эффектом памяти формы являются: чувствительность, переключаемость, активация, адаптивность, память и восстановление, энергоёмкость и преобразование энергии, демпфирование [1].



Зависимость кривых деформирования Ni-Ti от температур фазовых превращений

Среди материалов со свойствами ЭПФ лидирующим по применению является никелид титана (никельтитан, TiNi). Другие сплавы, обладающие подобным свойством: Ti-Au, Ti-Pd, Ti-Pt, Au-Cd, Cu-Zn.

С механической точки зрения, сплавы с эффектом памяти формы имеют высокие эксплуатационные свойства, а именно, работая в условиях износа, механической усталости, эрозии. Предел выносливости сплава Ti-Ni превышает его предел текучести в 4 раза. Зависимость кривых деформирования Ni-Ti от температур фазовых превращений представлена на рисунке. Также для сплавов с ЭПФ характерна высокая степень циклического деформационного упрочнения, зависящая от температур фазовых превращений [1].

Повышенная износостойкость данных сплавов объясняется псевдоупругостью деформирования слоев поверхности этих материалов в зоне трения, которое из-за увеличения площади контакта приводит к понижению вероятности появления трещин. Никелид титана хорошо проявляет свои коррозионные свойства: данный сплав не корродирует в воде даже при очень высоких температурах.

На сегодняшний день применение сплавов с ЭФП на производстве весьма распространено. Никелид титана используют в робототехнике, в системах автоматического регулирования расхода топлива, при создании мартенситных двигателей и приводов [4].

Например, в палубном истребителе F14 трубопроводы собраны муфтами из сплава на основе никелида титана (более 800 соединений). За 30 лет эксплуатации самолета не выявлено ни одного разрушения трубопровода по вине этих муфт. Также стоит отметить, что на космической станции «Мир» на блоке «Квант» установлены фермы «Софора» (14,5 м) и «Рапана» (6 м). В условиях космоса способы соединения деталей, такие как сварка, склеивание, клепка, пайка непригодны, поэтому работа по сборке этих ферм проводилась с помощью муфт из сплавов с эффектом памяти формы.

На основе всех характеристик я предлагаю использовать данные материалы при создании деталей газотурбинных установок, испытательных стендов для производства турбин, так как при работе с водородным топливом происходит изменение формы лопаток турбины. Дальнейшая работа при высокой температуре в газовых средах восстановит форму лопатки, созданной из сплавов с ЭФП [2,3].

### **Источники**

1. Бледнова Ж.М., Степаненко М.А. Роль сплавов с эффектом памяти формы в современном машиностроении. Краснодар, 2012. С.24–31.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. Т. 82. № 1. С. 17–26.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В., Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3. С. 342-355. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. - 2021. №2(23), С. 84-92.

УДК 620.91

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ НАМИБИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Обаджа Ханго

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Г.Р. Мингалеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

khango80@bk.ru

Рассмотрены энергетические ресурсы Республики Намибия и их использование на гидроэлектростанциях, тепловых электростанциях. Отмечены направления развития энергетики республики и пути повышения эффективности использования природных ресурсов.

**Ключевые слова:** гидроэлектростанция, энергетический проект, энергия биомассы, солнечная энергия, производство водорода.

## **ENERGY RESOURCES OF THE REPUBLIC OF NAMIBIA AND THE POSSIBILITIES OF THEIR EFFECTIVE USE**

Obadja Hango

KSPEU, Kazan, Russia

khango80@bk.ru

Considered the energy resources of the Republic of Namibia and their use in hydroelectric power plants, thermal power plants. Directions for the development of the energy sector of the republic and ways to increase the efficiency of the use of natural resources are noted.

**Keywords:** hydroelectric power plant, energy project, biomass energy, solar energy, hydrogen production.

Намибия является бывшей колонией Южной Африки, таким образом, долгое время энергетика и промышленность Намибии была тесно

связана с экономикой ЮАР. Сегодня данный сектор является независимым, и электричество в Намибии поставляется национальной компанией Намибийская энергетическая корпорация (НамПауэр). НамПауэр обеспечивает электричеством горнодобывающую и промышленную индустрии, а также все отдаленные районы страны. Сегодня Намибия старается расширять свои внешнеторговые отношения. Внутренний рынок здесь невелик, но географическое положение, а также транспортная и коммуникационная базы благоприятно отражаются на положении страны на мировой арене. Страна является членом ВТО, имеет квоты на свободный доступ к рынкам США и Европы.

Энергетика Намибии представлена следующими электростанциями.

Гидроэлектростанция Руакана на реке Кунене вырабатывает 330 МВт, часть этой электроэнергии идет на экспорт в ЮАР. Электричество также вырабатывается на теплоэлектростанциях Ван Эк, работающей на угле, и на небольших дизельных станциях, расположенных на всей территории Намибии [1].

На севере страны основным источником энергии является древесина, а основным топливом – биомасса. Изменение окружающей среды в ландшафте Намибии дает возможность для производства энергии из биомассы из так называемого «куста-захватчика». Более 26 миллионов гектаров были захвачены нежелательными древесными видами, которые фактически вывели земли из оборота и пастбища и повлияли на средства к существованию (REEEP, 2014). Использование древесной биомассы для производства энергии было разработано как средство увеличения масштабов удаления кустов с зараженных земель. В литературе указывается, что затронутые земли могут генерировать около 1100 ТВт·ч электроэнергии, при этом предполагается, что повторное отрастание обеспечит устойчивое сырье (REEEP, 2014). Коммунальное предприятие НамПауэр изучает модели ГЧП для финансирования нескольких из этих децентрализованных проектов «от куста к электричеству».

Солнечные условия в регионе Намибии считаются одними из лучших в мире для производства солнечной энергии [2,3]. Средняя интенсивность прямого солнечного излучения в стране составляет 2200 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год при минимальном количестве облаков [2,3]. В южном регионе Намибии в среднем 11 часов солнечного света в день, а средняя интенсивность прямого солнечного излучения составляет 3000 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год [2]. В этих условиях Намибия обладает огромным потенциалом для установки солнечных водонагревателей, солнечных фотоэлектрических систем (PV) и установок концентрированной солнечной энергии (CSP) [2].

С учетом того, что Республика Намибия обладает богатыми энергетическими ресурсами намечены следующие пути их эффективного использования.

Для увеличения производства электроэнергии в Намибии разработан энергетический проект «Куду». Основными элементами проекта являются разработка газового месторождения Куду и строительство электростанции комбинированного цикла мощностью 800 МВт, работающей на природном газе, в Ораньемунде . После завершения строительства электростанция будет питать электрические сети Намибии и Южной Африки. Проект будет разрабатывать НамПауэр, национальная энергетическая компания Намибии. Из общей мощности в 800 МВт около 400 МВт предполагается использовать в Намибии, что значительно увеличило бы текущую мощность электроснабжения страны, которая составляет 500 МВт и в основном зависит от электростанции Руакана.

Продажа нефти и газа, добываемых на месторождениях Венера и Графф-1, которые, как ожидается, принесут до 5,6 млрд долларов государственных доходов и удвоят экономику Намибии, приведет к росту ВВП на фоне разработки и эксплуатации углеводородных ресурсов Намибии.

Кроме того, учитывая, что государственная компания НамПауэр в настоящее время импортирует более 72% своей электроэнергии для удовлетворения растущего спроса, а при этом значительная часть населения Намибии живет без доступа к электричеству, запасы нефти и газа Намибии могут сыграть огромную роль в снижении энергетической бедности и обеспечении энергонезависимости страны. Перспективным также является производство «зеленого» водорода в Намибии и его экспорт в другие страны.

Намибия должна сыграть огромную роль в стабилизации поставок энергоносителей и обеспечении их доступности по всему региону, чтобы к 2030 году энергетическая бедность Африки стала историей. В глобальном масштабе страна нацелена на экономический рост и справедливый и инклюзивный энергетический переход, при котором нефть и ресурсы газа будут жизненно необходимы [2].

### **Источники**

1. To. Michael Hogan. P. Saundry and K. Cleveland (eds.). The Kunene River. Washington, DC: Encyclopedia of the Earth. National Council for Science and the Environment (2012). [Электронный ресурс] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cunene\\_River](https://en.wikipedia.org/wiki/Cunene_River) (дата обращения 27.02.2023 г.)



2. В Намибии пройдет Международная энергетическая конференция 2023 года. ИА Красная Весна [Электронный ресурс] URL: <https://rossaprimavera.ru/news/398dac5e> (дата обращения 27.02.2023 г.)

3. Jump up to: ab NamPower (May 6, 2020). Profile of Ruacana power Plant, Namibia. Windhoek: hydroelectricpowerstation. Verified on May 6, 2020. [Электронный ресурс] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ruacana\\_Hydroelectric\\_Power\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/Ruacana_Hydroelectric_Power_Station) (дата обращения 27.02.2023 г.)

УДК 620.9

## НОВЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Н.Т. Ханов<sup>1</sup>, А.А. Абдуллина<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup> patrikhanov@mail.ru, <sup>2</sup> azalkaabdullina69826@gmail.com

С каждым годом происходит увеличение вырабатываемой энергии от традиционных и нетрадиционных (возобновляемых) источников в России. Наука не стоит на месте, поэтому появляются новые возобновляемые источники энергии. В статье рассмотрены генерирующие электричество тротуарные плитки, тонкие пленки со множеством термоэлектрогенераторов и гравитационная система.

**Ключевые слова:** новые источники энергии, электричество, преобразование, возобновляемые источники энергии.

## NEW RENEWABLE ENERGY SOURCES

N.T. Khanov<sup>1</sup>, A.A. Abdullina<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup> patrikhanov@mail.ru, <sup>2</sup> azalkaabdullina69826@gmail.com

Every year there is an increase in the energy produced from traditional and non-traditional (renewable) sources in Russia. Science does not stand still, so new renewable energy sources are emerging. The article discusses electricity-generating paving slabs, thin films with a variety of thermoelectric generators and a gravity system.

**Keywords:** new energy sources, electricity, conversion, renewable energy sources.

С каждым годом происходит увеличение вырабатываемой энергии в России. Она может быть получена как с помощью традиционных источников, таких как гидроэлектростанции (ГЭС), тепловые станции (ТЭС) и атомные (АЭС), так и нетрадиционных или возобновляемых: солнечные станции (СЭС), ветряные станции (ВЭС) и приливная энергетика. Однако развитие человечества не стоит на месте и появляются все более новые возобновляемые источники энергии [1-2].

Так, в Британии был создан проект Pavegen. Авторы проекта полагали, что каждый человек, идущий по тротуару, создает давление на поверхность, если заставить прогибающийся под этим давлением участок преобразовывать механическую энергию в электрическую, то получится мини электростанция. Сотни таких генераторов, установленных на оживленных участках, смогут вырабатывать постоянный ток, достаточный для зарядки аккумуляторов. Для использования получившегося тока остается только его преобразование в переменный. Так, ими была создана и установлена специальная тротуарная плитка, генерирующая электрическую энергию благодаря шагающим по ним пешеходам [3]. Если говорить об эффективности данного устройства, то плитки, установленные в торговых центрах и на улицах, суммарно выработали около 20 МДж электроэнергии, что позволило осветить крупные городские улицы.

Для более ленивых людей разработана технология, вырабатывающая электричество за счет разницы температуры тела и окружающей среды. Тонкая и гибкая система, представляющая собой тонкую пленку со множеством термоэлектрогенераторов и работающая за счет эффекта Зеебека, помещается на тело человека. Она способна генерировать 6-16 мкВт/см<sup>2</sup>. Этого достаточно, чтобы запитать мелкие устройства по типу фитнес браслетов.

Также есть устройства, позволяющие человеку получить энергию, точнее будет сказать свет, от гравитационной системы, устроенной на принципе опускающегося под своим весом груза. Для активации освещения достаточно поднять мешок с нетяжелым грузом, который, опускаясь, приводит в движение генератор, позволяющий работать освещению около 20 минут. В данном случае наглядно продемонстрирован закон сохранения энергии, так как при поднятии груза он обладает потенциальной энергией, которая при опускании переходит в механическую, а она преобразуется в электрическую[4].

### **Источники**

1. Активное участие потребителя в управлении своим энергоснабжением / В. А. Стенников, Е. А. Барахтенко, Д. В. Соколов, В.

Б. Шелехова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19, № 11-12. – С. 88-100. – EDN YTZTWH.

2. Козелков О.В. Некоторые аспекты применения возобновляемых источников энергии в современной российской энергетической отрасли / О.В. Козелков, С.С. Усачев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2016. – № 1(29). – С. 97-104. – EDN VYUATZ.

3. Duarte F. et al. A new pavement energy harvest system //2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). – IEEE, 2013. – С. 408-413.

4. Майер Р. Закон сохранения и превращения энергии. Четыре исследования 1841-1851. – Directmedia, 2013.

УДК 621.438

## ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЛОПАТКИ СТАЦИОНАРНОЙ ГТУ

А.А. Хасанов

Науч. рук. канд техн. наук М.В. Савина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

hasanov2015@gmail.com

В статье проведен анализ методов профилирования лопаток турбины в различных САД/САЕ-системах. Проведен тепловой и газодинамический расчет ГТУ на основе прототипа с получением данных для профилирования лопаток осевой турбины в системе Компас 3D.

**Ключевые слова:** газовая турбина ГТЭ-45У, газодинамический расчет, профилирование лопатки.

## BLADE PROFILING OF STATIONARY GTU

A.A. Hasanov

KSPEU, Kazan, Russia

hasanov2015@gmail.com

The article analyzes the methods for profiling turbine blades in various CAD/CAE systems. The thermal and gas-dynamic calculation of the GTP based on the prototype was carried out with the receipt of data for profiling the blades of the axial turbine in the Compass 3D system.

**Keywords:** gas turbine GTE-45U, gas-dynamic analysis, blade profiling.

В процессе проектирования газовых турбин требуется выполнение профилирования лопаток с последующим импортом результатов в системы CAD/CAE. В работах [1, 2] показана возможность проектирования турбины и профилирования рабочих лопаток в Solidworks, Fluid flow CFX, BladeGend, Ansys Turbogrid. В работе [2] профилятор позволяет получить таблицу координат профилей соплового аппарата и рабочего колеса для трех сечений на основе результатов расчета ступени на соответствующих сечениях и сохранением полученных координат профилей в форматах поддерживаемых Unigraphics NX и ANSYS.

Для соблюдения условий оптимизации ТНД численные модели должны соответствовать следующим критериям: соответствие результатов экспериментальным; оценка изменений параметров ТНД из-за изменения, например, геометрии лопаток (оптимизационная переменная); минимизация временных и вычислительных ресурсов, необходимые для расчетов; количество параметров, описывающих форму лопаток (вектор переменных параметров) должно быть минимальным и не ограничивать возможности перепрофилирования. В работе [3] приведен следующий алгоритм: передача вектора переменных параметров в блок перепрофилирования лопаток и далее геометрии лопаток в программный комплекс численного моделирования Numesa FineTurbo, далее проведение газодинамического расчета перепрофилированных лопаток ТНД с получением данных по параметрам работы ТНД с оптимизацией. В работах [4, 5] применялись как численные, так и экспериментальные методы исследования газодинамики для лопаток ступени стационарной ГТУ с определением геометрии профиля с заданными граничными условиями.

В настоящей работе была использована методика газодинамического расчета проточной части осевых газовых турбин и профилирования сопловых и рабочих лопаток турбинной ступени, предложенной Комаровым О.В. (УрФУ) на основании известных значений технических параметров газотурбинной установки ГТЭ-45У, выбранной при проектировании в качестве прототипа.

При проведении теплового расчета отсека газовой турбины были получены следующие данные: располагаемый теплоперепад отсека  $H_{ад}=833,66$  кДж/кг; средний диаметр ступени  $d_{cp}=2,374$  м; корневой диаметр ступени  $d_k=2,126$  м. Газодинамический расчет ступени включает определение следующих значений (табл. 1).

Таблица 1.

## Результаты газодинамического расчета

Адиабатический теплоперепад ступени, кДж/кг	291,780306
Число Маха за ступенью	0,251
Окружная скорость на среднем диаметре РЛ, м/с	346,77
Высота рабочей лопатки, м	0,0827

Для получение геометрических параметров профиля лопатки стационарной газовой турбины требуются газодинамические расчеты ступени с учетом закрутки для 3-х сечений (табл. 2).

Таблица 2.

## Результаты газодинамического расчета с учетом закона закрутки

	Корневое	Среднее	Периферийное
Угол выхода потока из сопел ( $\alpha_1$ ), град	17,75627198	16	14,5530109
Угол выхода потока из ступени ( $\alpha_2$ ), град	47,92398706	50,95809929	53,93106358
Угол входа потока на РЛ ( $\beta_1$ ), град	31,30424269	34,29244262	40,62192476
Угол выхода потока из РЛ ( $\beta_2$ ), град	18,39248682	17,55333605	16,74145088
Скорость входа потока на РЛ ( $W_1$ ), м/с	398,4564531	300,1727781	215,8747197

В продолжении научной работы планируется провести расчёт геометрических параметров профиля лопатки, и основываясь на результатах этих расчетов построить профиль лопатки осевой турбины по трем сечениям в САД-системе Компас 3D.

**Источники**

1. Варсегов, В.Л. Влияние геометрии лопаток осевой турбины малоразмерных турбореактивных двигателей на КПД турбины / В. Л. Варсегов, Б. Н. А. Абдуллах // . – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 191-200. – DOI 10.34759/vst-2020-1-191-200. – EDN OSNHPZ.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022612679 Российская Федерация. Профилятор лопаток газовых турбин : № 2022612023 : заявл. 15.02.2022 : опубли. 28.02.2022 / В. В. Вятков, А. М. Тоцаков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева». – EDN QVPSWT.

3. Многокритериальная оптимизация рабочего процесса неохлаждаемой осевой трёхступенчатой турбины низкого давления / Г.М. Попов, Е.С. Горячкин, Ю.Д. Новикова [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 6(86). – С. 152-160. – EDN YORKAZ.

4. Некоторые результаты исследований по повышению эффективности проточных частей газовых турбин / В.Г. Грибин, В.А. Тищенко, И.Ю. Гаврилов [и др.] // . – 2021. – № 1(176). – С. 14-17. – EDN ZFJMOR.

5. Вокин, Л.О. Влияние закрутки лопаток последней ступени на эффективность блока "ступень-диффузор" стационарной ГТУ / Л.О. Вокин, Е.Ю. Семакина, В.А. Черников // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 84-95. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-4-84-95. – EDN CVBXIZ.

УДК 621.311

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ИЗОЛИРОВАННЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

Д.С. Цыкунов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

danil.tsykunov@gmail.com

Повышение эффективности энергоснабжения удалённых и изолированных территорий является одной из приоритетных задач, рассматриваемой в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года. В нашей работе рассмотрены региональные планы, находящиеся в разработке акционерного общества «Системный оператор Единой энергетической системы», план мероприятий по модернизации неэффективной генерации с целью оценки возможного использования инновационных систем распределения электроэнергии в изолированных и труднодоступных регионах, не подключенных к Единой энергетической системе России (далее – ЕЭС России).

**Ключевые слова:** изолированные регионы, генерация, распределение, виртуальная электростанция, техническое состояние.

## EFFICIENCY OF ENERGY SUPPLY TO CONSUMERS IN ISOLATED SETTLEMENTS

D.S. Tsykunov  
KSPEU, Kazan, Russia  
danil.tsykunov@gmail.com

Improving the efficiency of energy supply to remote and isolated territories is one of the priority tasks considered in the Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035. In our work, regional plans are considered, which are being developed by the joint-stock company «System Operator of the Unified Energy System», an action plan for the modernization of inefficient generation in order to assess the possible use of innovative power distribution systems in isolated and hard-to-reach regions not connected to the Unified Energy System of Russia (hereinafter – UES of Russia).

**Keywords:** isolated regions, generation, distribution, virtual power plant, technical condition.

По-прежнему актуальными остаются вопросы, связанные с энергоснабжением изолированных или труднодоступных территорий (далее – ИТТ): возможность продолжительной работы отдельной энергосистемы, применение инновационных систем распределения электроэнергии [1-3], повышенные расходы на приобретение дорогостоящего топлива. По причине подключения энергосистем стран Балтии с энергообъединением стран Континентальной Европы, которое планируется в 2025 году, предусмотрена возможность работы энергосистемы Калининградской области в изолированном режиме в течение длительного периода и приняты меры по: диверсификации топливно-энергетического баланса Калининградской области, вводу в работу новых электростанций, развитию сетевой инфраструктуры и реализации технических решений по противоаварийному управлению.

Основные проблемы изолированных энергосистем обусловлены ростом производственных издержек и себестоимости производимой электроэнергии по причине устаревания используемого оборудования и увеличения цен на привозное топливо для электростанций. Модернизация дизельных электростанций позволит повысить КПД, но не окажет влияния на снижение себестоимости произведенного тепла и электроэнергии. Эффективно использовать автономные гибридные установки. Особенностью гибридной электростанции является то, что с увеличением возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ), непостоянно

генерирующих электроэнергию и зависящих от погодных условий, появляются проблемы регулирования меняющейся нагрузки в сети из-за хаотичного включения и отключения потребителей. На 2021 год доля выработки электроэнергии ЕЭС России на ВИЭ-электростанциях составляет 0,5% (5,9 млрд. кВт·ч) [1]. Сейчас технологии аккумулирования электроэнергии являются малоэффективными и дорогостоящими.

Позволяет решить проблему технология гидроаккумулирования, но ее реализация требует больших расходов, а при каждом цикле зарядки и разрядки гидроаккумулирующей электростанции теряется более 30% электроэнергии [2]. Для управления системой установок перспективным является использование виртуальных электрических станций (далее – ВЭ). Виртуальная электростанция – это сеть децентрализованных энергоблоков: традиционных и альтернативных генераторов энергии, гибких потребителей энергии и аккумуляторов. Задачами ВЭ являются: уменьшение нагрузки, распределение энергии сети в периоды пиковой нагрузки. В Австралии практикуют применение ВЭ в жилых кварталах. В Мюнхене установлена крупная виртуальная сеть, работающая с 2010 года. Пример работы ВЭ показан на рисунке:



Технология работы ВЭ

С технологией виртуальных электростанций на ИТТ снизится необходимость в мощных производителях энергии [4, 5]. Все элементы сети будут взаимодействовать друг с другом с максимально высокой эффективностью, производить обмен и продажу электроэнергии.

### Источники

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., др. Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Московской области // Промышленная энергетика. 2022. № 4. С. 20-28. DOI 10.34831/EP.2022.41.57.003. EDN HXYLKK.



2. Солуянов Ю.И., Чернова Н.В., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Москвы // Промышленная энергетика. 2022. № 9. С. 12-19. DOI 10.34831/EP.2022.82.36.002. EDN KBOZXD.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Расчет поправочного коэффициента к нормативным значениям удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов г. Москвы и Московской области // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 4. С. 142-153. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-142-153. EDN CAFEMG.

4. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И., др. Расчет удельных электрических нагрузок жилых зданий на основании фактических замеров // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2022. Т. 25. № 4. С. 313-323. DOI 10.21443/1560-9278-2022-25-4-313-323. EDN AHMDJR.

5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.

УДК 621.438

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ МАЛОГАБАРИТНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЕТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛОЙ СХЕМЫ БРАЙТОНА

В.Ч. Чу<sup>1</sup>, В.В. Барсков<sup>2</sup>, Ю.В. Матвеев<sup>3</sup>, Т.К. Фам<sup>4</sup>

Науч. рук., д-р техн. наук, профессор В.А. Рассохин

ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт Петербург

<sup>1</sup>turbotechvn95@gmail.com, <sup>2</sup>viktorbarskov@mail.ru, <sup>3</sup>matyury@mail.ru,

<sup>4</sup>phamthanhquyet.kcd@gmail.com

В статье с целью совершенствования судовых малогабаритных газотурбинных установок (МГТУ) предложено использовать более сложные тепловые схемы данных установок. Для исследования была разработана программа на языке Python, которая позволила рассчитать все варианты и правильно сравнить их эффективность. Сравнение восьми схем МГТУ показало, что наиболее перспективным предложением можно считать цикл с промежуточным охлаждением и регенерацией тепла уходящих газов.

**Ключевые слова:** судовая малорасходная газотурбинная установка, расчет тепловой схемы, теплообменный аппарат, эффективность.

# EFFICIENCY ENHANCEMENT OF MARINE MICRO GAS TURBINE POWER PLANTS BY IMPROVING THEIR OPERATING CYCLE CONFIGURATION

V. C. Chu<sup>1</sup>, V.V. Barskov<sup>2</sup>, Y.V. Matveev<sup>3</sup>, T.Q. Pham<sup>4</sup>

SPbPU, St.Petersburg, Russia

<sup>1</sup>turbotechvn95@gmail.com, <sup>2</sup>viktorbarskov@mail.ru, <sup>3</sup>matyury@mail.ru,

<sup>4</sup>phamthanhquyet.kcd@gmail.com

The article proposes the use of more complex thermal schemes for small-sized marine gas turbine units (MGTUs) in order to improve their efficiency. To conduct the research, a Python program was developed, which allowed for the calculation of all possible variations and a proper comparison of their efficiency. The comparison of eight MGTU schemes showed that the most promising option is a cycle with intermediate cooling and heat regeneration of the exhaust gases.

**Keywords:** marine micro gas turbine, calculation of thermal schemes, heat exchanger, efficiency.

Настоящие МГТУ, установленные на судах для выработки электроэнергии и теплоты, обычно работают по циклу Брайтона с регенерацией. Одним значительным недостатком является то, что такие судовые МГТУ имеют более низкий эффективный КПД по сравнению с дизельными двигателями. Например, значение этого параметра для типичной судовой МГТУ мощностью 30 кВт лежит в пределах 26...28 % [1, 2], а обычно для судовых дизелей в пределах 37...38 %.

Применение в настоящее время жаропрочных и жаростойких материалов для изготовления высокотемпературных компонентов МГТУ (рабочих лопаток турбины, рекуператоров) возможно при максимальных температурах газа на входе в турбину МГТУ примерно 1100...1200 К. Повышение начальной температуры газов выше указанной неизбежно приводит к большим сложностям во исполнении охлаждения лопаточного аппарата малогабаритных турбин [3]. Поэтому для повышения энергетической эффективности судовых МГТУ желательно использовать сложные тепловые схемы и в случаях не предельно высоких начальных температурах продуктов сгорания.

В работе авторов проведены расчеты восьми разных тепловых схем МГТУ (рисунок 1) с использованием программы, разработанной на основе расчетной методики [4].

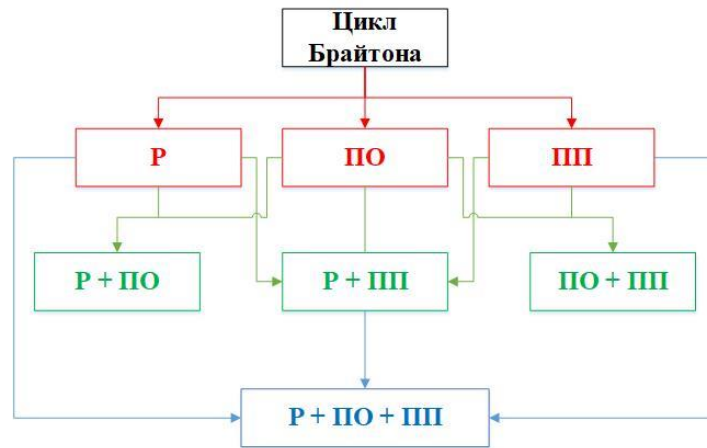


Рис. 1. Структурная схема образования сложных тепловых схем МГТУ: цикл Брайтона – простая схема; Р – с регенерацией; ПО – с промежуточным охлаждением; ПП – с промежуточным подогревом; Р+ПО – с регенерацией и промежуточным охлаждением; Р+ПП – с регенерацией и промежуточным подогревом; ПО+ПП – с промежуточными охлаждением и подогревом; Р+ПО+ПП – с регенерацией и промежуточными охлаждением и подогревом.

Основные расчетные данные приведены ниже.

- Параметры окружающей среды: температура воздуха  $T_n = 288$  К; давление воздуха  $P_n = 0,1013$  МПа.

- Температура газов на входе в турбину  $T_0^* = 1100$  К.

- Коэффициент полноты сгорания  $\eta_{кс} = 0,99$ ; внутренний КПД компрессора по полным параметрам  $\eta_k^* = 0,80$ ; внутренний КПД турбины по полным параметрам  $\eta_k^* = 0,86$ .

- Степень регенерации  $\mu = 0,80$  при наличии рекуператора; коэффициент потерь воздуха и газа давления через рекуператор  $\sigma_{р\_рекуператор} = 0,96$ .

- Уменьшение температуры сжатого воздуха на выходе компрессора при наличии воздухоохладителя  $\Delta T_{св} = 100$  К; коэффициент потерь полного давления через воздухоохладитель  $\sigma_{р\_во} = 0,98$ .

- Удельная теплоемкость рабочего тела МГТУ не зависит от его температуры.

Видно, что при сравнении результатов расчетов разных тепловых схем МГТУ (рисунок 2), лучшие эффективности были получены во всех схемах установок с регенерацией.

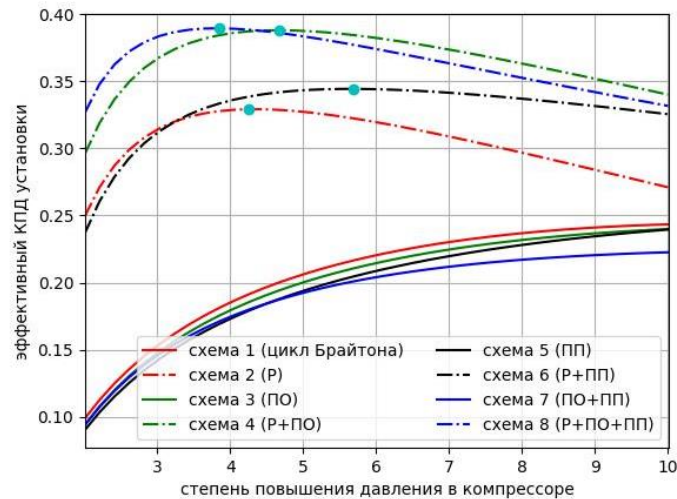


Рисунок 2. График зависимости эффективного КПД МГТУ, работающей по разным рабочим циклам, от степени повышения давления в компрессоре в  $T_0^* = 1100 \text{ K}$

Поэтому важна разработка высокоэффективных теплообменных аппаратов (рекуператоров, промежуточных воздухоохладителей). Следует отметить, что в таких схемах оптимальная степень повышения давления в компрессоре  $\pi_k^*$ , соответствующая в отмеченных точках, не выше 4...5. Самые лучшие результаты показаны по схемам 4 (P+ПО) и 8 (P+ПО+ПП) (самой сложной тепловой схеме). При  $(\pi_k^*)_{\text{опт}} = 4,7$  получен максимальный КПД цикла МГТУ. Поэтому для решения данной задачи, целесообразно использование рекуперативной тепловой схемы МГТУ с промежуточным охлаждением.

Применение промежуточного охлаждения рабочего тела в судовой МГТУ позволяет увеличить их эффективный КПД цикла в 1,2 раза по сравнению с простейшей тепловой схемой МГТУ с регенерацией и при оптимальной степени повышения давления в компрессоре (для каждой из двух схем). Для работы МГТУ на судне применение рекуперативной МГТУ с промежуточным охлаждением возможно благодаря наличию системы циркуляционной водой для промежуточного воздухоохладителя.

### Источники

1. Catalin F., Iordan N. Green Energy Propulsion. Journal of Marine Technology & Environment, 2017. Vol.2. P. 25-31
2. Gimelli A., Sannino R. Thermal dynamic model validation of Capstone C30 micro gas turbine, Energy Procedia, 2017. Vol.126. P. 955-962
3. Чу В.Ч. Повышение эффективности малогабаритных газотурбинных установок мощностью до 100 кВт использованием биметаллических рекуператоров / В.Ч. Чу, М. Басати Панах, М.А. Лаптев // Тинчуруинские

чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация" : Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 342-345. – EDN DCBXXW.

4. Рассохин В.А. Расчет тепловой схемы ГТУ: учебное пособие / Л.В. Арсеньев, В.А. Рассохин, С.Ю. Оленников, Г.Л. Раков // ЛГТУ. – СПб, 1992. – 64 С.

УДК 621.311

## МИНИ-ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

А.А. Чуксеева<sup>1</sup>, А.А. Абдуллина<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup> cukseevaanastasia@gmail.com, <sup>2</sup> azalkaabdullina69826@gmail.com

Гидроэлектростанции являются одним из способов получения электрической энергии, на их долю в России приходится около 17-18% всей вырабатываемой электроэнергии. В статье рассмотрена мини ГЭС, принцип ее работы, достоинства и недостатки, а также ее возможные применения.

**Ключевые слова:** гидроэлектростанции, мини ГЭС, энергетика.

## MINI HYDROELECTRIC POWER STATION

A.A. Chukseeva<sup>1</sup>, A.A. Abdullina<sup>2</sup>

Scientific advisor Igor Nikolaevich Maslov

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup> cukseevaanastasia@gmail.com, <sup>2</sup> azalkaabdullina69826@gmail.com

Hydroelectric power plants are one of the ways of generating electric energy, their share in Russia accounts for about 17-18% of all electricity generated. The article discusses the mini HPP, the principle of its operation, advantages and disadvantages, as well as its possible applications.

**Keywords:** hydroelectric power plants, mini hydroelectric power plants, power engineering.

Энергия – фундаментальная часть нашей жизни [1, 2]. Одним из распространенных способов ее получения являются гидроэлектростанции (ГЭС), сейчас в России они вырабатывают около 17-18% всей электроэнергии [3, 4]. Поэтому многие люди для собственных нужд используют мини ГЭС – станции, вырабатывающие сравнительно малое количество электроэнергии (см. рисунок). Выбор мощности, которых нужно осуществлять на основании фактических нагрузок [5].

Принцип работы мини ГЭС такой же, как и у обычной гидроэлектростанции: поток воды движущийся с высокой скоростью поступает к лопастям гидравлической турбины, после чего турбина начинает вращаться, что приводит к вращающемуся движению генератора, вырабатывающего электрический ток, который накапливается в аккумуляторах и потом имеет возможность использования потребителем. Стоит отметить, что на мини ГЭС водяной поток преимущественно приобретает скорость естественным путем: от перепадов высоты, угла наклона местности и прочие, - в отличие от обычных ГЭС, где напор водяного потока может также создаваться путем строительства дамб, плотин [6].



Мини ГЭС

К достоинствам мини ГЭС можно отнести, во-первых, неограниченный источник энергии, так как вода является возобновляемым ресурсом, во-вторых, автономность установки и низкая стоимость вырабатываемой энергии, так как для функционирования данной установки необходим поток воды под хорошим напором, в – третьих, надежность и продолжительный срок пользования. Однако, как и любая

установка мини ГЭС обладает недостатками, например, они могут представлять опасность для водных обитателей, ведь своей работой они нарушают сложившийся микроклимат; установка такого аппарата возможна только при хорошем движении водяного потока, ведь при других условиях работа устройства будет бессмысленна [7, 8].

Как говорилось ранее, мини ГЭС можно использовать в личных целях для обеспечения дома электрической энергией, также их можно рассматривать с коммерческой стороны в качестве мощностей, которые смогут обеспечить энергией район, стоит отметить, что данный критерий подходит для мест с хорошим водяным напором. Наряду с установками, работающими на водородном топливе [9, 10], мини ГЭС являются экологичными и вносят свой вклад в декарбонизацию энергетической отрасли.

### **Источники**

1. Жилкина Ю.В. Экономическая безопасность России: проблемы ее международно-правового обеспечения в современных условиях // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 14(71). С. 53-65. EDN MQGDLV.

2. Жилкина Ю.В. Обеспечение экономической безопасности государства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 8(65). С. 50-57. EDN LDEVNR.

3. Силова, М. И. Экономические перспективы гидроэнергетики как возможной альтернативы решения проблем большой энергетики / М. И. Силова, Г. Н. Марченко // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2007. № 7-8. С. 145-148. EDN KUEZKF.

4. Жилкина Ю.В. Пути повышения экономической безопасности Российской Федерации // Финансовый бизнес. 2010. № 4(147). С. 17-22. EDN RXXOHF.

5. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

6. Гурьянов, Д. А. Анализ современного состояния технологий эксплуатации малых ГЭС / Д. А. Гурьянов, К. А. Ланкин, Н. Ф. Тимербаев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12, № 4(48). – С. 73-84. – EDN LPWNLW.

7. Adhau S. P., Moharil R. M., Adhau P. G. Mini-hydro power generation on existing irrigation projects: Case study of Indian sites //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2012. – Т. 16. – №. 7. – С. 4785-4795.

8. Comino E. et al. Mini-hydro power plant for the improvement of urban water-energy nexus toward sustainability-A case study //Journal of Cleaner Production. – 2020. – Т. 249. – С. 119416.

9. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN СМУРКА.

10. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. EDN RCIJEG.

УДК 621.785.5

## **РОЛЬ ЖИДКОСТНОЙ КАРБОНИТРАЦИИ В КОМБИНИРОВАННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СТАЛЕЙ ВКС-7 И ВКС-10**

К.А. Шайхутдинов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

karimaz@list.ru

В данной работе рассматривается вопрос более технологичной, практичной и экономически выгодной обработки стали.

**Ключевые слова:** карбонитрация, химико-термическая обработка сталей, азотирование, упрочнение высоконагруженных деталей, горячекатаная сталь.



# THE ROLE OF LIQUID CARBONITRATION IN THE COMBINED CHEMICAL AND THERMAL TREATMENT OF VKS-7 AND VKS-10 STEELS

K.A. Shaykhutdinov  
KSPEU, Kazan, Russia  
karimaz@list.ru

In this work, the issue of more technological, practical and cost-effective steel processing is considered.

**Keywords:** carbonitration, chemical-thermal treatment of steels, nitriding, hardening of high-loaded parts, hot-rolled steel.

Современные традиционные технологии изготовления и упрочнения высоконагруженных деталей, в частности зубчатых колес редукторов различного назначения, практически исчерпали свои потенциальные ресурсы, а также очень дороги и сложны в реализации [2].

Одним из инновационных подходов в повышении комплекса эксплуатационных свойств является проведение комплексной химико-термической обработки – карбонитрации, которая более доступна для практического использования и имеет значительно меньшую стоимость [1].

Было обнаружено, что горячекатаная сталь 10 теряет свою твердость в результате отжига. Поверхностное же карбонитрирование образцов создает улучшенный слой с более высокой твердостью, высокой износостойкостью и повышенным электрическим сопротивлением [3].

Суть этого процесса является в двухэтапном проведении ХТО:  
- формирование насыщенного углеродом слоя для обеспечения контактной выносливости;  
- создание более тонкого, насыщенного азотом, высокотвердого слоя на поверхности зубьев для повышения износостойкости поверхности.

Сравнение распределения микротвердости для стали ВКС-7 после ВЦ и КХТО показывает, что азотирование, предшествующее ВЦ и термообработке, увеличивает поверхностную микротвердость на 80 HV и оказывает существенное влияние на приповерхностную часть (около 0,4 мм) диффузионного слоя. Эффективная толщина слоя при этом остается практически без изменений.

Анализ распределения микротвердости для стали ВКС-10 после ВЦ и КХТО показывает, что азотирование, проведенное на последней стадии

технологического процесса КХТО увеличивает поверхностную микротвердость на 200 HV, но из-за длительной выдержки при азотировании (15 ч. 500 °С) твердость сердцевины понизилась на 120 HV. Такие результаты свидетельствуют о несколько завышенной температуре длительного процесса ионного азотирования.

Для выбора вида насыщения поверхности азотом при КХТО, сравним ионное азотирование (ИА) и карбонитрацию (ЖКН) для стали ВКС-7.

Учитывая особенности жидкостной карбонитрации, а именно короткое время насыщения до получения нужной толщины слоя, намного более простое оборудование и меньшая требуемая квалификация рабочих, можно сделать вывод, что в комплексной ХТО наиболее рационально применять карбонитрацию вместо ионного азотирования.

### **Источники**

1. Зубарев Ю.М. Современные инструментальные материалы. // Издательство "Лань". 2022. 233 с.

2. Влияние ионно-плазменного азотирования и вакуумной цементации на износостойкость сталей ВКС-7 и ВКС-10. URL: <http://engineering-science.ru/doc/579264.html> (Дата обращения: 08.03.2023).

3. Influence of liquid nitriding on the properties of the electric steel 10. URL: [https://www.researchgate.net/publication/346889070\\_Influence\\_of\\_liquid\\_nitriding\\_on\\_the\\_properties\\_of\\_the\\_electric\\_steel\\_10](https://www.researchgate.net/publication/346889070_Influence_of_liquid_nitriding_on_the_properties_of_the_electric_steel_10) (Дата обращения: 08.03.2023).

УДК 621.438

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТРУБИННОЙ УСТАНОВКИ ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА**

М.А. Шакиров

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ru

Данная работа посвящена проблеме повышения энергоэффективности газотурбинных установок за счёт использования разных видов топлива. Одним из способов повышения эффективности использования топлива может быть добавка к исходному газу альтернативных топлив.

**Ключевые слова:** газотурбинные установки, энергоэффективность, топливный газ.

# IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF A GAS TURBINE PLANT BY USING DIFFERENT TYPES OF FUEL

M.A. Shakirov  
KSPEU, Kazan, Russia  
shakirov.ma@bk.ru

This work is devoted to the problem of improving the energy efficiency of gas turbine installations through the use of different types of fuel. One of the ways to increase fuel efficiency can be the addition of alternative fuels to the source gas.

**Keywords:** gas turbine installations, energy efficiency, fuel gas.

Мировое потребление электроэнергии увеличивается с каждым годом. Возникает необходимость увеличивать её производство, одним из таких решений может быть повышение энергоэффективности энергетических установок.

Газотурбинные установки (ГТУ) являются одними из самых распространенных и эффективных источников энергии. Однако, при работе многих ГТУ используется только один вид топлива, что не всегда выгодно с точки зрения экономии ресурсов и защиты окружающей среды. Для повышения энергоэффективности ГТУ могут использоваться разные виды топлива, такие как природный газ, дизельное топливо, керосин и т.д. Переключение на другой вид топлива может позволить увеличить КПД ГТУ и снизить выбросы вредных веществ в атмосферу.

В современных газовых турбинах возможно регулирование количества с изменением состава топлива во всем диапазоне нагрузок. Для этого необходимо подготовить газ перед использованием его в качестве топлива и обеспечить правильное его сжигание, что позволит снизить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Основным видом топлива для ГТУ является природный газ. Однако газотурбинные установки способны сжигать широкий спектр топлив. Развитие энергетики, ужесточение экологических норм, необходимость повышения энергоэффективности системы заставляет искать новые решения и использовать для этих целей многокомпонентные газы. Одним из методов повышения эффективности ГТУ является добавка к природному газу альтернативный вид топлива [1].

Альтернативные виды топлива отличаются от природного газа по составу, поэтому они влияют на эффективность оборудования. Это отразится и на цене электроэнергии – конечного продукта. В зависимости

от соотношения горючих газов топливный газ имеет разную теплотворную способность, а при сжигании отличаются также и плотность, температура сгорания, что влияет на срок службы ГТУ [2].

Топливный газ классифицируют по его теплотворной способности, основной характеристике топлива. Теплотворная способность может быть определена с помощью калориметра, в котором сжигается топливо [2].

Газы с высоким показателем теплотворной способности состоят из летучих углеродов и с незначительными долями инертных газов. К ним можно отнести пропан, бутан и их смеси. Часто в них содержится некоторое количество водорода [3].

Газы со средней теплотворной способностью представляют собой либо природный газ с высоким содержанием инертных газов или технологические газы, который часто состоит из метана, водорода, угарного газа, этана, пропана, углекислого газа [3]. Также к ним можно отнести топливо, которое производится при помощи газификации с продувкой кислородом или воздухом. В качестве исходного сырья такого топлива используется уголь, нефтяной кокс и тяжёлые жидкости [2].

Газы с низкой теплотворной способностью содержат монооксид углерода и водород, разбавленный большой долей инертных газов [2].

Важным параметром для непрерывной работы ГТУ является индекс Воббе, вычисляемый для конкретного газа. Если данный индекс двух различных газов совпадает, то настройка системы подачи и подготовки топлива остаётся без изменений. Если отклонение составляет больше 5%, то необходимо изменить настройки сгорания турбины [1]. При большом отклонении турбина не будет работать в оптимальном режиме. Это условие соблюдается при работе на двух видах топлива. Таким образом, можно смешивать различные виды топлива для повышения энергетических характеристик.

Высокие энергетические характеристики водорода позволяют повысить мощность ГТУ. Добавление водорода к топливному газу при этом снижает общий расход топлива на величину добавки водорода, снижается часовой расход топлива. Суммарный расход смеси газа и водорода остаётся неизменным [1].

В целом, использование разных видов топлива может быть выгодным решением для повышения энергоэффективности ГТУ, но требует проведения соответствующих работ. При выборе определенного вида топлива необходимо учитывать его стоимость, наличие на рынке, а также экологические характеристики.

### Источники

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.Е., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок //Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25. – №. 3 (158). – С. 342-355.
2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник ИрГТУ. 2020. №2 (151).
3. Jones R., Goldmeer J., Monetti B. Addressing gas turbine fuel flexibility //GE Energy. – 2011. – Т. 4601. – С. 1-20.

УДК 621.3

## ВЫБОР ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ ФАКТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Э.Р. Шакиров

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, профессор Н.И. Москаленко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

hpo4ek2003@mail.ru

Данная статья посвящена выбору электрогенерирующего оборудования на основании фактических измерений. В статье рассматриваются основные принципы выбора электрогенерирующего оборудования, а также описываются стандарты и формулы, которые необходимо учитывать при этом процессе. Кроме того, статья содержит примеры типов оборудования, которые могут использоваться для различных объектов, и рекомендации по выбору наиболее оптимального оборудования с учетом особенностей конкретного объекта.

**Ключевые слова:** измерения, электроснабжение, энергетика, эффективность, электрогенерирующее оборудование.

# SELECTION OF POWER GENERATING EQUIPMENT BASED ON ACTUAL MEASUREMENTS

E.R. Shakirov  
KSPEU, Kazan, Russia  
hpo4ek2003@mail.ru

This article is devoted to the selection of power generating equipment based on actual measurements. The article discusses the basic principles of choosing power generating equipment, as well as describes the standards and formulas that must be taken into account in this process. In addition, the article contains examples of types of equipment that can be used for various objects, and recommendations for choosing the most optimal equipment, taking into account the characteristics of a particular object.

**Keywords:** measurements, power supply, power engineering, efficiency, power generating equipment.

При выборе электрогенерирующего оборудования на основании фактических измерений необходимо учитывать множество параметров, таких как нагрузка, мощность, надежность, эффективность и другие [1-3]. Один из ключевых факторов при выборе оборудования являются фактические измерения, которые позволяют получить точную информацию о реальном энергопотреблении объекта [4-6]. Для проведения измерений необходимо использовать специальное оборудование, которое позволяет измерять параметры электрической энергии, такие как мощность, напряжение и ток. Одним из наиболее распространенных способов измерения энергопотребления является использование прибора учета электроэнергии, который позволяет получить данные о количестве электроэнергии, потребляемой объектом за определенный период времени.

Однако для более точного анализа необходимо использовать стандарты, определяющие требования к проведению измерений и расчету нагрузки. Например, стандарт IEEE 519-2014 определяет требования к гармоническим источникам и нагрузкам, которые необходимо учитывать при выборе оборудования. Кроме того, стандарт ISO 8528 определяет требования к мощности и допустимым отклонениям в работе оборудования.

Результаты измерений можно использовать для расчета нагрузки на систему и выбора оптимального электрогенерирующего оборудования. Рассчитывая нагрузку на основании измеренных параметров, можно

определить необходимую мощность оборудования. Данная нагрузка равна произведению тока, напряжения и коэффициента мощности.

Кроме того, при выборе электрогенерирующего оборудования необходимо учитывать его эффективность. Для оценки эффективности оборудования используют коэффициент полезного действия (КПД), равный отношению полезной мощности к потребляемой мощности.

Таким образом, выбор электрогенерирующего оборудования должен основываться на фактических измерениях параметров электроэнергии и учете стандартов, определяющих требования к измерениям и расчету нагрузки. Результаты измерений и расчетов позволяют определить оптимальную мощность и эффективность оборудования, что позволяет значительно сократить затраты на энергопотребление и повысить надежность работы системы.

При выборе электрогенерирующего оборудования также необходимо учитывать его тип, особенности конструкции и принцип работы. Например, для небольших объектов, таких как частные дома или офисные здания, может использоваться бензиновый или дизельный генератор. Для крупных промышленных объектов же более подходящим решением может быть использование турбинного или газового генератора.

Таким образом, выбор электрогенерирующего оборудования на основании фактических измерений является важным этапом в создании надежной и эффективной электроснабжающей системы. Качественный анализ параметров электроэнергии и учет стандартов позволяют выбрать оптимальное оборудование с учетом особенностей объекта и максимально снизить затраты на энергопотребление.

### **Источники**

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., др. Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Московской области // Промышленная энергетика. 2022. № 4. С. 20-28. DOI 10.34831/EP.2022.41.57.003. EDN HXYLKK.

2. Солуянов Ю.И., Чернова Н.В., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Москвы // Промышленная энергетика. 2022. № 9. С. 12-19. DOI 10.34831/EP.2022.82.36.002. EDN KBOZXD.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Расчет поправочного коэффициента к нормативным значениям удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов г. Москвы и Московской области // Известия высших учебных заведений. Проблемы

энергетики. 2022. Т. 24. № 4. С. 142-153. DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-142-153. EDN CAFEMG.

4. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И., др. Расчет удельных электрических нагрузок жилых зданий на основании фактических замеров // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2022. Т. 25. № 4. С. 313-323. DOI 10.21443/1560-9278-2022-25-4-313-323. EDN AHMDJR.

5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.

6. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

УДК 621.311:658.26

## ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Ф.Р. Шаяхметов

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, профессор Н.И. Москаленко

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

fadissaya121@gmail.com

К идее собственной генерации приходят многие руководители предприятий, в связи с увеличением затрат на энергоснабжения. И в данной статье рассматривается изучение идеи: экономического обоснования производства собственной генерации, преимущества и риски получения энергии гражданами-потребителями и на производстве.

**Ключевые слова:** собственная генерация, электроэнергия, экономическое обоснование.



## ECONOMIC JUSTIFICATION OF OWN GENERATION

F.R. Shayakhmetov  
KSPEU, Kazan, Russia  
fadissaya121@gmail.com

Many heads of enterprises come to the idea of their own generation, due to the increase in energy supply costs. And this article examines the study of the idea: the economic justification of the production of own generation, the advantages and risks of obtaining energy for civilian consumers and in production.

**Keywords:** own generation, electricity, economic justification.

Собственная генерация энергии - это процесс создания электрической энергии для использования во внутреннем потреблении с помощью оборудования, такого как генераторы тепловой энергии, фотоэлектрические панели, аккумуляторы и другое. Это часто применяется для снижения расходов на электроэнергию и для предотвращения потерь электроэнергии при передаче через внешние сети [1-3].

Генерация на базе собственных средств - важный шаг для любой компании, изучающей возможность производства электроэнергии самостоятельно [4]. Экономические преимущества собственной генерации могут обеспечить компании целостность своего энергоснабжения, а также приносить дополнительные прибыли [1,2].

Одним из основных экономических преимуществ собственной генерации является возможность получения значительных экономических сохранений по сравнению с приобретением электроэнергии на рынке. Кроме того, собственная генерация также позволяет компании сохранить контроль над своими газовыми и энергетическими активами, а также устранить налоговые и другие ограничения, что дополнительно будет приносить экономические преимущества. Выбор мощности собственной генерации необходимо производить по фактическим нагрузкам [5-7]

Кроме того, собственная генерация может увеличить устойчивость компании в периоды высокого спроса и понизить риски, связанные с ценами на рынках электроэнергии. Собственная генерация может позволить сузить потребление топлива, что делает его более экономически эффективным, доходность и стоимость собственной генерации прямо пропорциональны капитальным затратам на их создание [8]. Однако большие обслуживание расходы могут увеличить итоговую стоимость собственной генерации.

Таким образом, собственная генерация может стать важным экономическим инструментом, позволяющим компании добиться достижения своих целей по уменьшению расходов на электроэнергию.

### Источники

1. Жилкина Ю.В. Экономическая безопасность России: проблемы ее международно-правового обеспечения в современных условиях // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 14(71). С. 53-65. EDN MQGDLV.

2. Жилкина Ю.В. Обеспечение экономической безопасности государства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 8(65). С. 50-57. EDN LDEVNR.

3. Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85. EDN NVAMET.

4. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66. EDN SAWUQX.

5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. EDN MBYUSE.

6. Жилкина Ю.В. Концепции интернета вещей как способ мотивации к энергосбережению // Электрические станции. 2020. № 2(1063). С. 23-26. EDN HOOSPG.

7. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

8. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

## **СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ РАЗВИТИЯ**

Я.С. Янушевская

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.Н. Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Россия

ynushevskaya@mail.ru

Фундаментом энергообеспечения региона могут являться: невозобновляемые и возобновляемые источники энергии. Камчатский край, как изолированный от общей энергосистемы часть страны, стремится иметь собственное производство энергии, что можно воплотить в реальность, благодаря аутентичным гидроэнергетическим ресурсам Камчатки.

**Ключевые слова:** электроэнергия, Камчатка, гидроэнергетика.

## **THE STATE OF THE ENERGY INDUSTRY OF THE KAMCHATKA TERRITORY AND PROSPECTS FOR ITS DEVELOPMENT**

Ya.S. Yanushevskaya

KSPEU, Kazan, Russia

ynushevskaya@mail.ru

The foundation of the energy supply of the region can be: non-renewable and renewable energy sources. The Kamchatka Territory, as a part of the country isolated from the common energy system, strives to have its own energy production, which can be made a reality thanks to the authentic hydropower resources of Kamchatka.

**Keywords:** electricity, Kamchatka, hydropower.

Камчатский край – изолированная энергосистема, основной задачей которой является самостоятельное обеспечение электроэнергией за счет максимального использования внутренних энергоресурсов края. Схема энергетической системы Камчатки складывается из Центрального энергоузла и 13-ти локальных изолированных энергоузлов, которые в последствии стали градообразующими предприятиями (см. рисунок).



Структура установленной мощности Центрального энергоузла энергосистемы Камчатского края по типам электростанций на 01.01.2022

Центральный энергоузел это основной элемент системы энергообеспечения Камчатского края, в него входят основные крупные генерирующие источники: ТЭЦ-1(204 МВт – турбоагрегат №4(44МВт), турбоагрегат №5(55МВт), турбоагрегат №6(50МВт), турбоагрегат №7(55МВт)), ТЭЦ-2(160МВт – турбоагрегат №1(80МВт) и турбоагрегат №2(80МВт)).

Базовые источники генерации электроэнергии в изолированных энергоузлах - дизельные и газодизельные электростанции: Паужетская ГеоЭС, малая Быстринская ГЭС, а также ветровые электростанции [1].

Каждый, даже незначительный сбой внутри изолированной системы приводит к опасным кризисным ситуациям и серьёзным экономическим потерям [2, 3], такие явления часто возникали в энергетике Камчатки. Для стабилизации и надежности был проведен комплекс работ. Производство энергии было переведено на внутренние энергоресурсы края. В действие были приведены геотермальные электростанции и гидроэлектростанции. ТЭЦ было решено перевести на местный природный газ и водород [4]. Тем не менее, введя новшества, энергетикам Камчатского края не удалось решить основную задачу - снижению энерготарифа, из-за чего стоимость электрической энергии на Камчатке все еще является одной из наиболее высоких в стране (см. таблицу).

Таблица

Тарифы на электроэнергию по регионам

Место	Субъект РФ	Стоимость 100 кВт*ч
1	Иркутская область	111
31	Республика Крым	304
34	Республика Татарстан	378
54	Камчатский край	680

Причина, по которой Камчатка отстает по экономическим показателям среди регионов РФ – неспособность освоения и эксплуатации природных ресурсов [5].

В качестве альтернативного подхода предлагается переход в Камчатском крае на гидроэнергетику как основной энергетический ресурс.

Следует уяснить, что развитие гидроэнергетики и строительство гидроэлектростанций на Камчатке не включает в себе основной целью повысить электрическую мощность. Программа направлена на постепенную замену дорогостоящего углеводородного топлива на «зеленую», более дешевую, возобновляемую энергию [3, 4].

Природные условия Камчатского края располагают к строительству ГЭС и эффективной реализации данного проекта.

### **Источники**

1. Схема и программа развития электроэнергетики Камчатского края на 2021–2025 годы. Распоряжение губернатора Камчатского края № 299-Р от 29.04.2021. Петропавловск-Камчатский

2. Жилкина Ю.В. Экономическая безопасность России: проблемы ее международно-правового обеспечения в современных условиях // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 14(71). С. 53-65. EDN MQGDLV.

3. Жилкина Ю.В. Обеспечение экономической безопасности государства // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. Т. 6. № 8(65). С. 50-57. EDN LDEVVN.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26. DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-17-26. EDN CMYRKA.

5. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71. EDN RRSRRX.

## Секция 8. Перспективные материалы

УДК 544.6.018.47-036.5

### ТОПЛИВНЫЕ ЯЧЕЙКИ И ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ В ВОДОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

С.В. Айтиева<sup>1</sup>, Р.Н. Газизова<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Бунтин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>aytieva.svetlana@icloud.com <sup>2</sup>gazizova.ralina777@mail.ru

В данной статье рассмотрен переход от топливных ячеек к аккумуляторам нового поколения, на основе катионных электролитов.

**Ключевые слова:** топливные ячейки, аккумулятор, водородные элементы, твердые электролиты, наноструктурные материалы, электродные материалы.

### FUEL CELLS AND THEIR CONVERSION INTO HYDROGEN CELLS

S.V. Aitieva<sup>1</sup>, R.N. Gazizova<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
<sup>1</sup>aytieva.svetlana@icloud.com <sup>2</sup>gazizova.ralina777@mail.ru

This article discusses the transition from fuel cells to a new generation of batteries based on cationic electrolytes.

**Keywords:** fuel cells, battery, hydrogen cells, solid electrolytes, nanostructured materials, electrode materials.

#### 1. Направление в сфере водородной энергетики.

За минувшие годы были заметны резкие изменения в основном, связанные с водородной энергетикой.

В течение пяти лет разработка водородной программы в США приобрела большее значение и развитие, в первую очередь, относящееся к содержанию водорода в связанном состоянии (аланаты, гидрид магния) и его использованием в топливных элементах [1]. С помощью материальной поддержки государства намеревалась коммерциализация результатов. Топливные ячейки, оказавшиеся свойственным явлением проектов новых экоэнергетических высотных зданий во многих частях мира;

Удивительным оказывается триумф в сфере конечного применения и потребления водородной энергетики, которой в США ортодоксальным считается прежде всего автомобиль Honda [2].

## 2. Водород в роли функционирующей жидкости аккумуляторов.

Водород как присущий элемент воды применяется в различных моделях аккумуляторов с жидким электролитом на водной основе. Поначалу его применяли, как рабочую жидкость электрохимического элемента еще XIX веке, когда ученый Вальдемар Юнгнер открыл вещество, способное конвертируемо химически связывать и выделять водород, и вместе с тем стойко переносить коррозию в щелочных растворах [3]. Им оказался *Ni*. В обычных условиях он двухвалентен, и на его поверхности появляется плотная оксидная пленка *NiO*, которая в воде становится стабильным гидроксидом *Ni(OH)<sub>2</sub>* и ограждает металл от коррозии. Перевод *Ni* гальваническим путем в нестабильную трехвалентную форму позволяет получить гидрат оксида *NiOOH* на поверхности металла с отщеплением водорода:

$Ni(OH)_2 \rightleftharpoons NiOOH + H^+ + e^-$ , являющийся анодной реакцией во всех никелевых батареях, в том числе современные. Появляющийся при зарядке водород обращается в раствор в виде ионов гидроксония  $H_3O^+$ . В начальных образцах водород поглощался во время зарядки из-за восстановления слабого гидроксида металла [4]. Сперва кадмий был взят в роли такого металла из-за большой электропроводности его оксида:



Нынешние никель-кадмиевые батареи производятся из трехслойной ленты, сгруппированный из высокопористого никеля, кадмия и сепаратора, пронизанного раствором *KOH* [5]. Ленту сжимают и вставляют в герметичный корпус. При помощи такого механизма внутреннее сопротивление звеньев не очень большое, и потенциальная мощность высока, по этой причине такие батареи до сих пор эксплуатируют, если нужно сильное выделение электроэнергии за непродолжительное время. Такие аккумуляторы обладают высокой плотностью энергии по сопоставлению со свинцово-кислотными батареями, но широкого внедрения из-за высокой токсичности кадмия мы не видим.

## 3. Водородные элементы

Батареи и аккумуляторы с жидкими электролитами теперь являются неотъемлемыми элементами новой техники, без которых очень трудно запустить компьютеры, автомобили, и прочие устройства. Но они так и не стали в крупный энергетический сектор, из-за высокой цены,

использования относительно редких и часто токсичных металлов (свинец, никель, цинк и др.).

Образование твердых электролитов, способных сбросить ограничения на выбор компонентов, занимает значительное внимание многих физиков, химиков и материаловедов и служит одним из наиболее вероятных ориентиров прогресса в скором времени. Главной задачей является твердые ионные проводники, обладающие проводимостью не ниже жидких растворов при малых температурах. Устройство для накопления энергии в виде водорода на основе твердого электролита, непосредственно закрытого типа и представляющее собой комбинацию топливной ячейки и батареи, часто называют водородным (топливным) элементом.

Был лицензирован в числе новых металлических материалов для содержания водорода, способных поглощать и выделять водород при пониженных комнатных температурах в основном на основе магния. Это способствовало возможности разработки водородных элементов, не содержащих дорогостоящих элементов.

Потенциал создания твердых электролитов с колоссальной ионной проводимостью появился в результате нанотехнологий.

### **Источники**

1. Прохоров И. Ю., Акимов Г. Я. Фотоэнергетика и водородная энергетика: возможности и достижения // Наука и инновации. 2009. Т. 5. № 6. С. 11–24.

2. The Zero-Emissions Electric Vehicle of the Future. A Reality Today. – Honda FCX Clarity - Fuel Cell Electric Vehicle [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://automobiles.honda.com/vehicle-electrification> (дата обращения 19.02.2023).

3. Bergstrom S. Nickel-cadmium batteries – pocket type // J. Electrochem. Soc. 1952. Vol.99, Issue 9. – С.248–250.

4. Под ред. М. Б. Табункина. Цветные металлы и сплавы. Плоский прокат. Т. 1: Справочник – М.: Металлургия, 1975. С. 216.

5. Хрусталёв Д. А. Аккумуляторы. – М: Изумруд, 2003. С. 121.



## ЗАЩИТНЫЕ ВНУТРЕННИЕ ПОКРЫТИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

М.С.Ваганов<sup>1</sup>, Д.О.Котомкина<sup>2</sup>

Науч.рук. канд. техн. наук ст. преподаватель А.Е. Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>misha.vaganov00@mail.ru, <sup>2</sup>storekeeper.mich@gmail.com<sup>2</sup>

Статья посвящена проблеме защиты внутренней поверхности трубопроводов от коррозии. Описаны основные факторы, влияющие на скорость появления коррозии на внутренней поверхности трубопровода, такие как кислотность и щелочность перекачиваемой жидкости, наличие загрязнений, температура и давление в трубопроводе, химические и электрохимические реакции. В статье также описаны методы защиты внутренней поверхности трубопроводов от коррозии, включая использование покрытий, ингибиторов коррозии и регулярное обслуживание трубопроводов.

**Ключевые слова:** трубопроводы, коррозия, защита от коррозии, внутренняя поверхность, обслуживание трубопроводов, прочность покрытий, стойкость покрытий, покрытия.

## PROTECTIVE INTERNAL COATINGS OF PIPELINES

M.S. Vaganov<sup>1</sup>, D.O. Kotomkina<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan

<sup>1</sup>misha.vaganov00@mail.ru, <sup>2</sup>storekeeper.mich@gmail.com

The article is devoted to the problem of protecting the inner surface of pipelines from corrosion. The main factors affecting the rate of corrosion on the inner surface of the pipeline are described, such as the acidity and alkalinity of the pumped liquid, the presence of contamination, temperature and pressure in the pipeline, chemical and electrochemical reactions. The article also describes methods of protecting the inner surface of pipelines from corrosion, including the use of coatings, corrosion inhibitors and regular maintenance of pipelines.

**Keywords:** pipelines, corrosion, corrosion protection, internal surface, pipeline maintenance, coating strength, coating resistance, coatings.

Металлические трубы получили широкое применение в различных областях промышленности. В большинстве современных трубопроводов

используются металлические материалы, главное причиной их разрушения является коррозия [1]. В основном это касается трубопроводов, изготовленных из таких металлов, как медь, алюминий, чугун, углеродистая сталь. Коррозионно-механическая прочность определяет надежность функционирования составных частей трубопровода. Коррозия является главной проблемой, возникающей в процессе использования трубопроводов. Так как каждый конкретный случай улучшения внутренней поверхности требует к себе индивидуальный подход, разработка и реализация новых технологических методов становится затруднительной задачей [2].

Факторы появления коррозии на внутренней поверхности трубопроводов связаны с составом рабочего тела, ее скоростью и направлением потока, температурой и давлением в трубопроводе, а также с химической активностью материала трубопровода и наличием примесей в материале. Учитывая вышеперечисленные факторы, для предотвращения коррозии на внутренней поверхности трубопроводов используются различные методы защиты, такие как технические мероприятия (применение ЭХЗ, очистка труб от отложений), применение ингибиторов, применение высокоэффективных защитных покрытий (силикатные, полимерные, металлические, комбинированные), применение коррозионностойких труб (стальные легированные, алюминиевые сплавы).

Органосиликатные эмали. Основные преимущества высокая термостойкость (до 400 °С). Недостатки: повышенные требования к подготовке поверхности. Длительный процесс подготовки материала перед нанесением при применении в трассовых условиях (5-6 часов), высокая токсичность применяемых растворителей, высокая стоимость.

Металлические защитные покрытия являются термостойкими, малочувствительны к механическим воздействиям. Материал, применяемый для нанесения металлического защитного покрытия – алюминий. Для труб, работающих при очень высоких температурах, используются огнеупорные футеровки, полиуретановые футеровки, металлические покрытия и футеровки на основе бетонных растворов. Основные недостатки – пористость, высокая стоимость [3].

Полимерные защитные покрытия. Напыляемые защитные покрытия обладают низкой шероховатостью, что обуславливает снижение потерь напора и затрат электроэнергии на транспортирование воды при сохранении ее качества. Метод применим для санации, мало поврежденных трубопроводов без значительных неровностей, свищей, трещин и т.п. Полимерное защитное покрытие наносят так же, как и

цементно-песчаную смесь. Для этого используют центробежную вращающуюся головку с воздушным приводом. Основными компонентами (смола) и отвердитель хранятся в подогреваемых резервуарах для поддержания их необходимой вязкости.

Сплошные полимерные рукава, сущность данного метода заключается в армировании внутренней поверхности трубопровода специальным мягким рукавом, изготовленным (по размеру saniруемого участка трубопровода) из кислотоупорного полиэфирного волокна, пропитанного эпоксидной смолой.

Из данной статьи можно сделать вывод, что защита внутренней поверхности трубопроводов от коррозии является важной задачей в обеспечении безопасной и надежной работы трубопроводов. Для этого необходимо учитывать множество факторов, влияющих на скорость коррозии, и выбирать оптимальные методы защиты внутренней поверхности трубопроводов в зависимости от условий эксплуатации и требований качества перекачиваемой жидкости. Одним из наиболее эффективных методов защиты является использование покрытий, однако при этом необходимо учитывать их прочность и стойкость к воздействию перекачиваемых жидкостей и факторов окружающей среды. Также необходимо учитывать влияние технологических параметров на скорость коррозии и проводить регулярное обслуживание трубопроводов для обеспечения их надежной работы и длительного срока эксплуатации.

### **Источники**

1. Папков М., Бычкова Ю. Решения 3м в области антикоррозионной защиты внутренней поверхности труб с помощью жидких эпоксидных покрытий // Территория нефтегаз. 2014. Вып. 4. С. 22–23.
2. Алмагамбетова С.Т. Технологические особенности защиты внутренней поверхности стальных труб водоснабжения // Проблемы современной науки и образования. 2017. Вып. 3(85). С. 35–37.
3. Аверкеев И.А. Применение полимерного покрытия, обеспечивающего прочность системы / Орлов В.А., Аверкеев И.А. // М.: ООО "Технологии мира", Технологии мира. 2013. № 4. с. 25–27.

## СИЛИКОНОВЫЕ АЭРОГЕЛИ В СФЕРЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

И.Р. Ганиев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ildar.ganiev99@mail.ru

В статье представлена информация про аэрогель, тепловые свойства этого наноматериала и его многоуровневую пористую наносетчатую структуру.

**Ключевые слова:** аэрогель, нанопористый материал, теплоизоляция, наноструктура.

## SILICONE AEROGELS IN THE SPHERE OF THERMAL INSULATION

I.R.Ganiev

KSPEU, Kazan, Russia

Ildar.ganiev99@mail.ru

The article provides information about the airgel, the thermal properties of this nanomaterial and its multilevel porous nanomesh structure.

**Keywords:** airgel, nanoporous material, thermal insulation, nanosturcure.

Теплоизоляционные материалы широко используются в области энергосбережения различных типов конструкций. Функциональная модель широко используемых теплоизоляционных материалов снижает теплопередачу и тепловой поток за счет снижения теплопроводности, теплового излучения и тепловой конвекции. Теплоизоляционные материалы, как правило, характеризуются рыхлой и пористой структурой или закрытыми вакуумными слоями, препятствующими конвекции воздуха, например, пенопласт, пенополистирол, пенополиуретан и др. [1]. К новым типам нанопористых материалов относят аэрогели, структура которых препятствует свободному движению молекул воздуха в нем, поэтому аэрогель имеет сверхнизкую теплопроводность, лучшую, чем у статического воздушного слоя. Распространены аэрогели на основе аморфного диоксида кремния, оксида алюминия, хрома и олова. Приготовление аэрогеля из чистого оксида алюминия можно разделить на метод с использованием неорганической соли алюминия и метод с

металлоорганическим алкоксидом алюминия [2, 3]. Различное количество воды в процессе гидролиза можно разделить на гранулированный и полимеризационный методы. Аэрогели обладают ножеством наноразмерных микропористых структур, размер которых меньше длины свободного пробега молекул воздуха. Блок аэрогеля из оксида алюминия обладает молочно-белым, голубоватым оттенком без видимых трещин. После термообработки при 1200 °С становится голубовато-прозрачным. Уникальные структурные параметры, такие как трехмерный каркас наночастиц и высокая пористость аэрогеля, определяют его термостойкость и теплостойкость, а также структурную прочность. Рис.1 представляет собой микрофотографию аэрогеля оксида алюминия, полученную с помощью сканирующего электронного микроскопа [2-5].

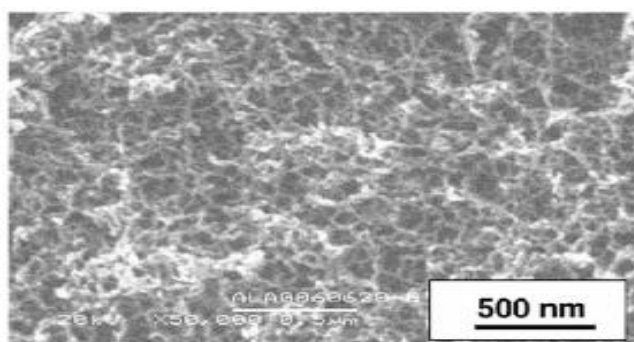


Рис. 1: СЭМ-изображение аэрогеля на основе оксида алюминия

Также аэрогели изготавливаются из диоксида кремния при помощи гидролиза и конденсации молекул кремнийсодержащего прекурсора, в процессе чего образуются силоксановые связи Si–O–Si. На рис. 2 наглядно показан технологический процесс приготовления аэрогеля [4].

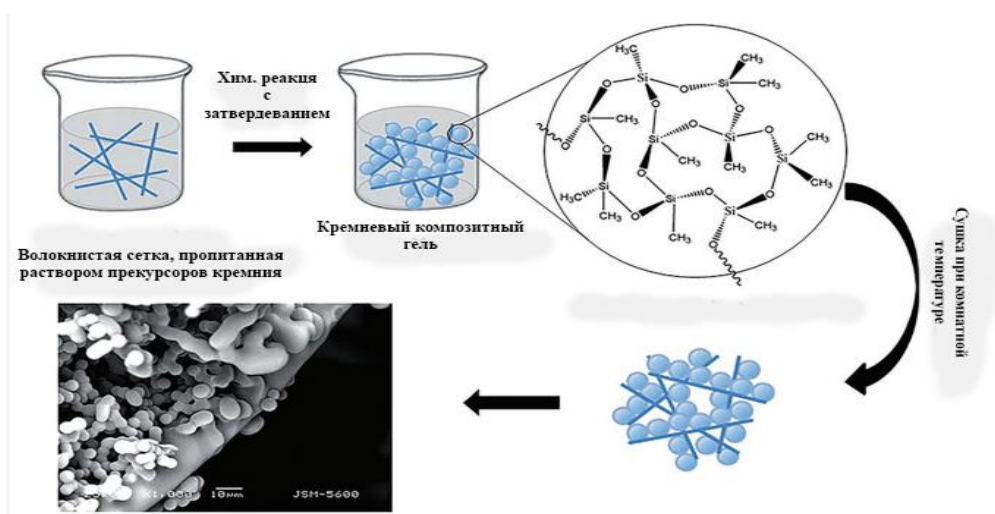


Рис. 2: Схематическая диаграмма структуры приготовления аэрогеля

## Источники

1. Derazkola H. A., Khodabakhshi F. A novel fed friction-stir (FFS) technology for nanocomposite joining // Science and Technology of Welding and Joining. 2020. 25(2) С. 89–100. DOI 10.1080/13621718.2019.1631534.
2. Sharma A., Sharma V. M., Paul, J. Fabrication of bulk aluminum-graphene nanocomposite through friction stir alloying // Journal of Composite Materials. 2020. 54(1). С. 45–60. DOI 10.1177/0021998319859427.
3. Khdair, A. I., Fathy, A. Enhanced strength and ductility of Al-SiC nanocomposites synthesized by accumulative roll bonding // Journal of Materials Research and Technology. 2020. 9(1). С. 478–489. DOI 10.1016/j.jmrt.2019.10.077.
4. Yue Yu. Analysis of the Performances of a New Type of Alumina Nanocomposite Structural Material Designed for the Thermal Insulation of High-Rise Buildings // Fluid Dynamics & Materials Processing. 2023. 19(3). С. 697–709.
5. Sirotkin O.S., Buntin A.E. Optimization of the choice of technological methods for nanomodification of natural aluminosilicates through the parameters of ohe element-oxygen chemical bond // Key engineering materials. 2021. 887. С. 201–206.

УДК 620.22

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ГРАФЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ

Р.Р. Миннигалимов<sup>1</sup>, М.Л. Гузаеров<sup>2</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент А.Е. Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ» Республика Татарстан, г. Казань, Россия

<sup>1</sup>ranis.minnigalimov2016@mail.ru, <sup>2</sup>an.10.08.2015@qmail.com

В данной статье рассмотрена перспектива применения графеновых материалов в электронике при создании батарей и накопителей. Представлены некоторые специфические показатели, такие как производительность хранилища, обратимая удельная ёмкость, разрядная способность.

**Ключевые слова:** графен, наноккомпозит, анодный материал, ёмкость, производительность, аккумулятор.

# THE PROSPECTS OF GRAPHENE NANOMATERIALS IN THE FIELD OF ELECTRONICS

R.R. Minnigalimov, M.L. Guzaerov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>ranis.minnigalimov2016@mail.ru, <sup>2</sup>an.10.08.2015@gmail.com

This article discusses the prospect of using graphene materials in electronics when creating batteries and storage devices. Some specific indicators are presented, such as storage performance, reversible specific capacity, and discharge capacity.

**Keywords:** graphene, nanocomposite, anode material, capacity, performance, battery.

Как известно, в настоящее время множество учёных признают выдающиеся качества графеновых материалов во многих областях науки и технике. В частности это относится к электронике, а именно к батареям и так называемым накопителям.

Графен и наноматериалы, основанные на нем, широко используются во множестве применений из-за его ряда физико-химических характеристик и уникальных структур [1].

Например, в области электроники, особенно для разработки аккумуляторов, что доказано Gong и соавторами, которые сконструировали натрий-ионные аккумуляторы, используя одностадийный сольвотермический подход для синтеза нанокompозитов (оксид графена с  $\text{CuCO}_2\text{S}_4$ ), который используется в качестве материала анода, и валидация этих нанокompозитов была подтверждена с помощью TEM / XPS / SEM / XRD / BET / Ramanspectroscopy [2]. Эта предложенная теория показала, что нанокompозит обладает хорошими электрохимическими свойствами, а также повышает производительность хранения по сравнению с одним  $\text{CuCO}_2\text{S}_4$ . После 50 циклов обратимая удельная емкость  $\text{CuCO}_2\text{S}_4/\text{rGO}$  остается  $433 \text{ mAч г}^{-1}$  при  $100 \text{ mA г}^{-1}$ . Кроме того, при удельной емкости  $336 \text{ mAч г}^{-1}$  при  $1000 \text{ mA г}^{-1}$   $\text{CuCO}_2\text{S}_4/\text{rGO}$  обладает хорошей производительностью. Следовательно, нанокompозиты на основе графена могут быть использованы в качестве анодного материала и подходят для разработки батарей.

Другая группа исследователей Varghese и соавт. использовали гидротермальный метод для синтеза нанокompозитов ( $\text{Mn}_3\text{O}_4\text{-rGO}$ ) и проанализировали с помощью FT-IR спектроскопии/FE-SEM/HR-TEM/XPS/XRD/Raman spectroscopy/HR-TEM [3]. В этом исследовании были оценены электрохимические свойства графеновых нанокompозитов с

Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-rGO в качестве анодных материалов для изготовления батарей (литий-ионных). Эта предложенная теория доказала, что наноконпозиты на основе графена демонстрируют большую емкость для хранения и электрохимические свойства при циклировании против Li/ lip, с обратимой удельной емкостью 474 мАч г<sup>-1</sup> при 100 мА г<sup>-1</sup> после 200 циклов.

Shen и др. сконструировали литий-ионную батарею, используя наноконпозиты из графена/NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/SnO<sub>2</sub> как материала анода, и синтезировал эти конпозиты с помощью одноступенчатого гидротермального подхода [4]. После 50 циклов анод SNG с оптимизированным коэффициентом подачи имеет реверсивную производительность 731,5 мА ч/г при 200 мА/г, что составляет 80,9% от начального цикла. Материал также обладает высокой разрядной способностью 613 мА ч/г при расходе 800 мА/г. Разрядная способность остается 841,6 мА ч/г при снижении плотности тока до 100 мА/г, что указывает на его высокую производительность. Результаты показали, что наноконпозиты стали идеальным выбором для изготовления аккумуляторов.

В ссылке на предыдущее исследование Чжэн и др. также использовали гидротермальный подход для синтеза, восстановленного графена и соединили его с сульфидом никеля, чтобы получить наноконпозит, который использовался в качестве анодных материалов для изготовления калиевых и натриево-ионных батарей [5]. При этом восстановленный графен/NiS<sub>2</sub> демонстрирует отличные свойства при хранении по сравнению с натриевыми-калиевыми батареями. Для натриево-ионных аккумуляторов емкость первого разряда составляет 821 мАчг<sup>-1</sup> с емкостью 575 мАчг<sup>-1</sup> после 100 циклов при 100 мА г<sup>-1</sup> и обратимой емкостью 308 мАчг<sup>-1</sup> после 500 циклов при 5000 мА г<sup>-1</sup>. Кроме того, ионно-калиевый аккумулятор с обратимой емкостью 320 мАчг<sup>-1</sup> после 100 циклов при 50 мА г<sup>-1</sup>.

Таким образом, была показана перспективность применения графеновых материалов в области электроники.

### **Источники**

1. Ou L., Song B., Liang H., Liu J., Feng X., Deng B., Sun T., Shao L., Toxicity of graphene-family nanoparticles: a general review of the origins and mechanisms // Part. Fibre Toxicol. 2016. 13(1). С. 1–24. doi: 10.1186/s12989-016-0168-y.



2. Gong Y., Zhao J., Wang H., Xu J.,  $\text{CuCo}_2\text{S}_4$ /reduced graphene oxide nanocomposites synthesized by one-step solvothermal method as anode materials for sodium ion batteries // *Electrochim. Acta*. 2018. 292. С. 895–902.

3. Varghese S.P., Babu B., Prasannachandran R., Antony R., Shaijumon M.M. Enhanced electrochemical properties of  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ /graphene nanocomposite as efficient anode material for lithium ion batteries // *J. Alloys Compd.* 2019. 780. С.588–596.

4. Shen H., Xia X., Yan S., Jiao X., Sun D., Lei W., Hao Q.,  $\text{SnO}_2/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ /graphene nanocomposites as anode materials for lithium ion batteries // *J. Alloys Compd.* 2021. 853. 157017.

5. Zheng H., Chen X., Li L., Feng C., Wang S., Synthesis of  $\text{NiS}_2$ /reduced graphene oxide nanocomposites as anodes materials for high-performance Sodium and Potassium ion batteries // *Mater. Res. Bull.* 2021. 142(4). 111430.

УДК 541.64:66.095.26

## ПЕРВАПОРАЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА

А.Р. Давлетбаева, И.Н. Закиров

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент О.О. Сазонов

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Россия

zakirovilyas1996@gmail.com

В настоящей работе были получены полиуретановые иономеры и исследованы в качестве первапорационных мембранных материалов для разделения смеси изопропилового спирта и воды. Установлено, что увеличение содержания ионогенных групп в составе АЭФК приводит к заметному увеличению первапорационных характеристик. Доказано, что высокая эффективность мембранных материалов при обезвоживании изопропанола обусловлена интенсивными процессами кластеризации с участием  $\text{PO}^-$  групп, присутствующих в АЭФК.

**Ключевые слова:** первапорация, полиуретановые иономеры, мембраны, селективность, изопропиловый спирт.

# PERVAPORATION MEMBRANES FOR DEHYDRATION OF ISOPROPYL ALCOHOL

A.R. Davletbaeva, I.N. Zakirov  
KNRTU, Kazan, Russia  
zakirovilyas1996@gmail.com

In this work, polyurethane ionomers were obtained and investigated as pervaporation membrane materials for separating a mixture of isopropyl alcohol and water. It was found that an increase in the content of ionogenic groups in the composition of AEPA leads to a noticeable increase in the initial characteristics. It is proved that the high efficiency of membrane materials in the dehydration of isopropanol is due to intensive clustering processes involving PO<sup>-</sup> groups present in AEPA.

**Keywords:** pervaporation, polyurethane ionomers, membranes, selectivity, isopropyl alcohol.

Первапорация является перспективным методом для разделения растворов изопропанола [1]. Известно, что методы дистилляции и ректификации, традиционно используемые для этих целей, имеют высокие энергозатраты и не позволяют с высокой эффективностью разделять азеотропные смеси [2]. Использование традиционных методов разделения в этом случае экономически невыгодно и приводит к загрязнению окружающей среды.

Изопропанол является незаменимым соединением в промышленности. Его используют для растворения органических соединений и в качестве чистящего средства, в качестве модифицирующего агента в процессах полимеризации, для консервации продуктов питания, а также в медицине при производстве аэрозольных распылителей [3]. Спрос на изопропиловый спирт значительно вырос в связи с пандемией Covid-19, что привело к увеличению среднерыночной цены. Кроме того, отходы изопропанола загрязняют окружающую среду и требуются высокие энерго- и ресурсозатраты на его утилизацию. Поэтому извлечение изопропилового спирта с целью его повторного использования важны как с экономической, так и с экологической точки зрения.

Первапорационные мембраны были разработаны из нескольких сотен типов полимерных материалов [4]. Однако применение полимерных мембран ограничено их невысокой химической и термической стабильностью и, в частности, проблемой поддержания баланса между производительностью и

селективностью. Таким образом, разработка новых полимерных мембран стала актуальной задачей.

Полиуретановые мембраны изготавливались из АЭФК-ПУ и тестировались методом первапорации. Исследования показали, что мембраны проявляют высокую производительность, которая возрастает с повышением содержания ионогенных групп в составе АЭФК-ПУ. Показатель первапорационного разделения (PSI) проявляет значения, которые соизмеримы с лучшими полимерными первапорационными мембранами, исследованными для разделения смесей изопропанол/вода.

Таблица 1

Обезвоживание смеси изопропанол/вода 85 масс. %, с использованием первапорационных мембран на основе АЭФК-ППГ-1000-ПУ

Полиуретан	Концентрация воды в пермеате, масс. %)	Поток пермеата, г/м <sup>2</sup> ч	Коэффициент разделения	Показатель первапорационного разделения PSI, г/м <sup>2</sup> ч
Температура 60 °С				
АЭФК-4-ПУ	82.05	2551	26	56.3
АЭФК-5-ПУ	81.1	2655	24	74.3
АЭФК-6-ПУ	79.1	2853	21	57.1
Температура 40 °С				
АЭФК-4-ПУ	83.2	1021	49	49
АЭФК-5-ПУ	82.8	1145	52	58.4
АЭФК-6-ПУ	80.9	1250	45	52.8

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 19-19-00136.

### Источники

1. Vane L.M. Membrane materials for the removal of water from industrial solvents by pervaporation and vapor permeation // J. Chem. Technol. Biot. 2019. Vol. 94. P. 343–365.
2. Andre A., Nagy T., Toth A.J., Haaz E., Fozer D., Tarjani J.A., Mizsey P. Distillation contra pervaporation: Comprehensive investigation of isobutanol-water separation // J. Clean. Prod. 2018. Vol. 187. P. 804–818.
3. Jyothi M.S., Reddy K.R., Soontarapa K., Naveen S., Raghu A.V., Kulkarni R.V., Suhas D.P., Shetti N.P., Nadagouda M.N., Aminabhavi T.M.

Membranes for dehydration of alcohols via pervaporation // J. Environ. Manag. 2019. Vol. 242. P. 415–429.

4. Castro-Muñoz R., Galiano F., Fíla V., Drioli E., Figoli A. Mixed matrix membranes (MMMs) for ethanol purification through pervaporation: Current state of the art // Chem. Eng. 2018. Vol. 35. P. 565–590.

УДК 541.64:66.095.26

## СИНТЕЗ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ИОНОМЕРОВ

И.Н. Закиров, О.О. Сазонов, З.М. Хисматуллин

Науч. рук. докт. хим. наук, профессор И.М. Давлетбаева

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Россия

zakirovilyas1996@gmail.com

В настоящей работе были изучены особенности реакции этерификации полиэфиров катализируемых третичными аминами. Методом ЯМР спектроскопии было установлено, что межмолекулярные взаимодействия между звеньями ППГ и третичными аминами, приводят к образованию каталитически активного комплекса. Получены кинетические кривые реакций этерификации, которые подтвердили ключевую роль комплексов третичных аминов с ППГ в катализе реакции этерификации.

**Ключевые слова:** этерификация ортофосфорной кислоты, каталитическая активность третичных аминов, эфиры ортофосфорной кислоты, полиуретановые иономеры.

## SYNTHESIS OF POLYURETHANE IONOMERS

I.N. Zakirov, O.O. Sazonov, Z.M. Hismatullin

KNRTU, Kazan, Russia

zakirovilyas1996@gmail.com

In this work, the features of the esterification reaction of polyesters catalyzed by tertiary amines were studied. By NMR spectroscopy, it was found that intermolecular interactions between the PPG units and tertiary amines lead to the formation of a catalytically active complex. Kinetic curves of esterification reactions were obtained, which confirmed the key role of complexes of tertiary amines with PPG in the catalysis of the esterification reaction.

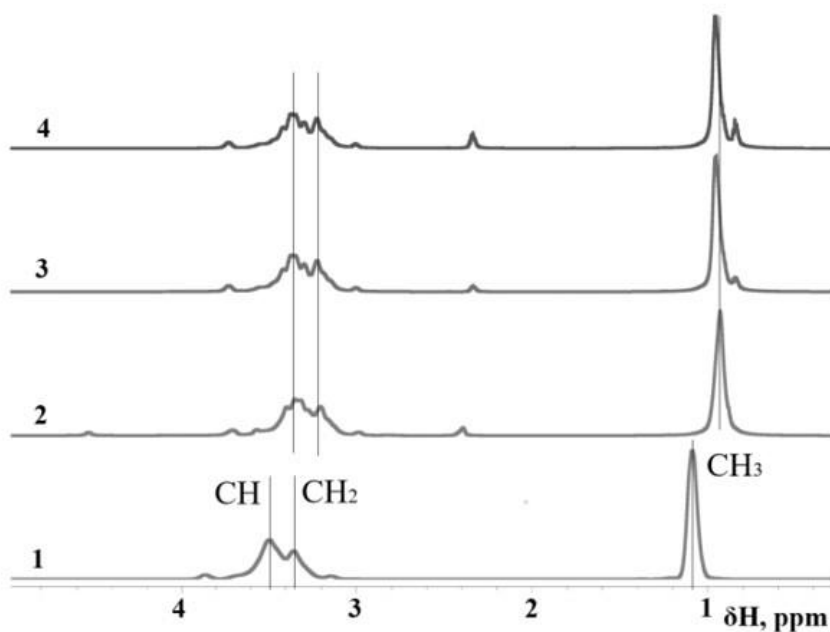
**Keywords:** esterification of orthophosphoric acid, catalytic activity of tertiary amines, esters of orthophosphoric acid, polyurethane ionomers.

Включение в полимерную цепь ионных фрагментов позволяет регулировать технологические свойства полимеров такие как: температура стеклования, физико-механические свойства, реологические характеристики полиуретановой массы и др. [1]. Полиуретановые иономеры могут быть получены различными способами, в числе которых использование полиэфиров с введёнными в их состав ионными группами или введением ионных групп в форполимер [2].

В работе [3] были синтезированы фосфорорганические полиуретановые иономеры. Дальнейшей задачей стало исследования механизма реакции низкотемпературной этерификации ОФК, а также причины каталитической активности третичных аминов.

На  $^1\text{H}$  ЯМР спектрах растворов третичных аминов в полиоксипропиленгликоле (см. рисунок) наблюдается сдвиг сигналов протонов метильной, метиленовой и метиновой групп в сильное поле относительно ППГ. Так как сдвиг резонансных сигналов протонов в сильное поле является следствием увеличения их экранирования можно заключить, что межмолекулярные взаимодействия между звеньями ППГ и третичными аминами, приводят к образованию каталитически активного комплекса.

Проведённые исследования свидетельствует о том, что межмолекулярные взаимодействия гидрофобно-гидрофильного характера между триэтиламином и звеньями полиэфира приводят к сворачиванию звеньев ППГ вокруг триэтиламина. В случае использования триэтанолamina происходит экранирование молекул третичного амина полиоксипропиленгликолем. В этом случае гидроксильные группы триэтанолamina вступают в ассоциативные взаимодействия с эфирными атомами кислорода полиэфира. В ходе реакции триэтанолamin включается в состав АЭФК и выводится из зоны экранирования полиоксипропиленгликолем и переходит в состав иона третичного аммония.



$^1\text{H}$  ЯМР спектры ППГ (1), [ТЭА]:[ППГ] = 1:3 (2), [ТЭЛА]:[ППГ] = 1:3 (3), [ТЭЛА]:[ППГ] = 1:1 (4)

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 19-19-00136.

### Источники

1. Capek I. Dispersions of polymer ionomers // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2004. Vol. 112. P. 1–29.
2. Jaudouin O., Robin J.-J., Lopez-Cuesta J.-M., Perrin D., Imbert C. Ionomer-based polyurethanes: a comparative study of properties and // *Polymer International*. 2012. Vol. 61. P. 495–540.
3. Davletbaeva I.M., Sazonov O.O., Fazlyev A.R., Davletbaev R.S., Efimov S.V., Klochkov V.V. Polyurethane ionomers based on amino ethers of orto-phosphoric acid // *RSC Advances*. 2019. Vol. 9. 18599-18608.

УДК 620.22

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТА

Д.О.Котомкина<sup>1</sup>, М.С.Ваганов<sup>2</sup>

Науч.рук. канд. техн. наук ст. преподаватель А.Е. Бунтин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>storekeeper.mich@gmail.com, <sup>2</sup>misha.vaganov00@mail.ru

В статье представлены результаты исследований, направленные на разработку инновационных технологий получения композитов на основе природных слоистых силикатов. Композиты с минеральными компонентами обладают рядом преимуществ перед другими композитными материалами, включая высокую прочность, хорошую износостойкость, устойчивость к химическому воздействию и термостабильность.

**Ключевые слова:** органоглина, бентонит, лецитин, биологически активное вещество, композиционные материалы, матрица, наполнители.

## COMPOSITE MATERIALS BASED ON BENTONITE

D.O.Kotomkina<sup>1</sup>, M.S.Vaganov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan

<sup>1</sup>storekeeper.mich@gmail.com, <sup>2</sup>misha.vaganov00@mail.ru

The article considers composites based on bentonite and high-molecular compounds as a matrix. Bentonite-based composites have a number of advantages over other composite materials, including high strength, good wear resistance, chemical resistance and thermal stability.

**Keywords:** organogлина, bentonite, lecithin, biologically active substance, composite materials, matrix, fillers.

Бентонит – это важнейшее природное минеральное сырьё, которое используют в качестве компонента формовочных смесей в литейном производстве, для производства буровых растворов, керамзита и адсорбентов. Комплекс ценных связующих, сорбционных и тиксотропных свойств бентонитов в разной степени обеспечиваются слоистыми силикатами в его составе, такими как монтмориллонит, гидрослюды, примеси цеолитов. Области применения постоянно расширяются, в частности для получения новых композиционных материалов на основе модифицированных форм [1-2].

В работе [3] разработана технология получения композита на основе бентонита и каучука. На первом этапе бентонит переводился в натриевую форму путем обработки содой. После полученный бентопорошок обрабатывается катамином АБ, смесь усредняется, высушивается и подвергается термическому старению при 300°C в течение суток. По результатам выдержки смесь бентопорошка с катамином АБ имеет более высокие показатели прочности приблизительно равной 2,96 МПа, что на 50% больше прочности образца без добавления бентонита, наиболее высокое относительное удлинение равно 352%, следовательно, способны

сохранять эластичность при более высоких температурах, повышение твердости, то есть замедление дальнейшего структурирования, приводящее к растрескиванию.

В работе [4] изложена технология насыщения бентонита органическим веществом в соотношении глина: ЧАС (четвертичная аммонийная соль) 1: 0,75 и 1:1. Данная технология позволяет получать органопродукты с высокими гидрофобизирующими свойствами. К недостаткам можно отнести снижение способности интеркалирования олигомеров в межплоскостном пространстве глины. Использование данных органобентонитов в виде наполнителей, позволяет воздействовать на структурно-химические свойства различных полимеров и увеличивать межфазное взаимодействие сырья при создании композиционных материалов. Полимеры, армированные наночастицами модифицированного бентонита, составляющими всего лишь 2–5 % массы, демонстрируют улучшение термомеханических и барьерных свойств, повышение прочности, жесткости материалов, улучшение термической и термоокислительной стабильности, понижение газопроницаемости.

Получение органокомпозиата на основе бентонита под влиянием лецитина  $C_{42}H_{80}NO_8P$  описано в статье [5]. Бентонит предварительно оставляют набухать в дистиллированной воде и перемешивают в течение 16 часов. Дисперсия бентонита 0,01 г/мл смешивается с 10 мл раствора лецитина в этаноле с концентрациями (2.0-3.0 ЕКО), постоянно перемешивая в течение часа, рН смеси регулируется добавкой 6,0 моль/л HCl. Затем раствор обрабатывается ультразвуком и нагревается в масляной ванне при температуре 60 °С. После этого смесь центрифугируется, полученный осадок промывается раствором этанола с дистиллированной водой в соотношении 1:1. Далее осадок высушивается при температуре 60°С в течение 48 часов. Полученный бентонит повторно измельчается в ступке. В результате молекулы лецитина принимают новую пространственную форму в межслойном пространстве слоистых силикатов бентонита, становясь перпендикулярными их поверхности, что увеличивает межслойное пространство до 5,96 нм при  $pH \geq 3,0$ . Формирование такой структуры имеет большое практическое значение для получения недорогого органобентонита.

На данном этапе развития материаловедения наблюдается тенденция расширения номенклатуры композиционных материалов, включая наноструктурированных, на основе модифицированных природных силикатов (бентонитов), что связано с ценным комплексом их свойств и возможностью трансформации структуры в различных направлениях.



### Источники

1. Buntin A.E. Influence of Nano-Modification on Structural Mechanical and Physico-Chemical Characteristics of Bentonite // *Solid State Phenomena*. 2021. Т. 316. С. 34–39.
2. Buntin A., Agliullin, V. Transformation of the structure and adsorption properties of bentonite during physical and chemical treatment // *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. 2373(3). 032006.
3. Архиреев В.П., Ибрагимова М.А. Влияние состава слоистых силикатов типа бентонитов на термостойкость резин из силоксанового каучука // *Вестник КТУ*. 2009. Вып. 2. С. 60–63.
4. Наумкина Н.И., Трофимова Ф.А. Модифицирование – ведущее направление изменения свойств глинистого сырья с доминированием смектитов // *Разведка и охрана недр*. 2012. Вып. 5. С. 53–59.
5. Qiang Li, Romain Berraud-Pache, Yongjie Yang, Christelle Souprayen, Maguy Jaber. Biocomposites based on bentonite and lecithin: An experimental approach supported by molecular dynamics // *Applied Clay Science*. 2023. Вып. 231. 10 с.

УДК 541.64

## МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОЛИДИЭТИЛСИЛОКСАН МОДИФИКАТОРОВ ОРГАНОЗАМЕЩЕННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КРЕМНЕЗЕМА, ПОЛУЧЕННЫХ КИСЛЫМ КАТАЛИЗОМ

Е.Д.Ли, З.З. Файзулина, И.М.Давлетбаева

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань  
katystayls@gmail.com

Были синтезированы модификаторы на основе полиоксиэтиленгликоля, тетраэтоксисилана с использованием катализатора кислой природы  $\text{SiCl}_2$  (кислота Льюиса) для полидиметилсилоксанов и герметиков на их основе. Определено их влияние на свойства полидиметилсилоксанов и герметиков. Был проведен сравнительный анализ катализаторов кислой и щелочной природы. Оказалось, что золь-гель процесс с использованием катализатора щелочной природы идет дольше в сравнении с использованием катализатора кислой природы при прочих равных условиях синтеза.

**Ключевые слова:** золь-гель синтез, герметизирующие композиции, катализаторы, вязкостные характеристики.

# MODIFYING EFFECT ON POLYDIETHYLSILOXANE OF MODIFIERS OF ORGANO-SUBSTITUTED SILICA DERIVATIVES PRODUCED BY ACID CATALYSIS

E.D. Li, Z.Z. Faizulina, I.M. Davletbaeva

Kazan National Research Technological University, Kazan

katystayls@gmail.com

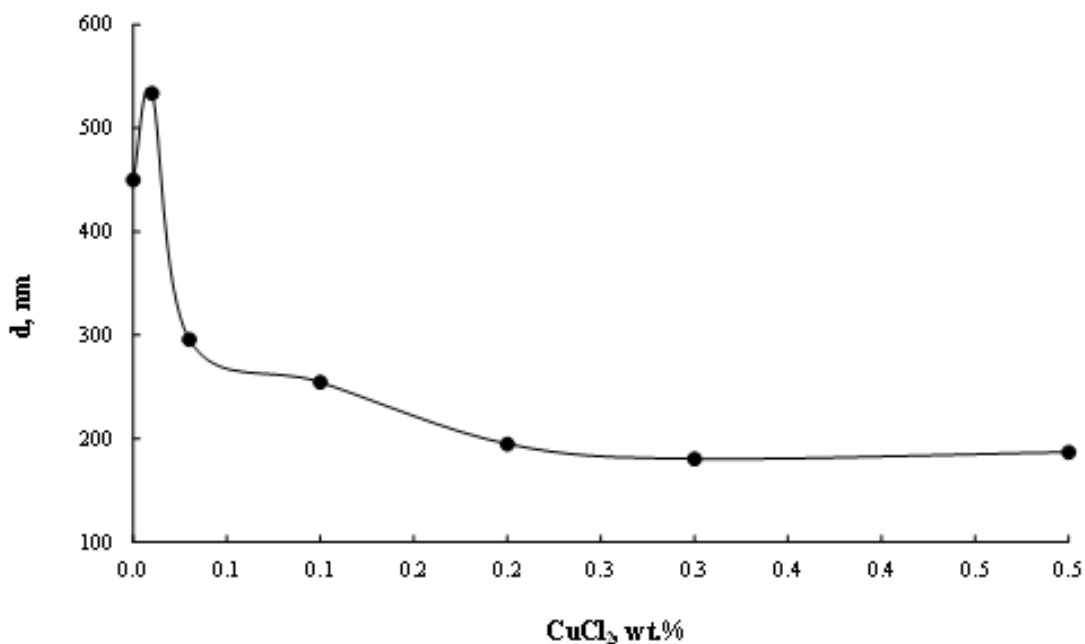
Modifiers based on polyoxyethylene glycol, tetraethoxysilane were synthesized using an acidic catalyst  $CuCl_2$  (Lewis acid) for polydimethylsiloxanes and sealants based on them. Their influence on the properties of polydimethylsiloxanes and sealants has been determined. A comparative analysis of acidic and alkaline catalysts was carried out. It turned out that the sol-gel process with the use of an alkaline catalyst takes longer in comparison with the use of an acidic catalyst, all other conditions of synthesis being equal.

**Keywords:** sol-gel synthesis, sealing compositions, catalysts, viscosity characteristics.

Интенсивное развитие авиационной и космической техники требует создания новых перспективных материалов для высокоскоростных летательных аппаратов. Возникают серьезные проблемы, связанные с необходимостью создания и использования герметизирующих составов с высокими диэлектрическими характеристиками. В связи этим особый интерес вызывает использование композиций на основе кремнийорганических полимерных материалов, обладающих высокой устойчивостью к внешним воздействиям и работоспособностью в экстремальных условиях. Несомненный интерес для достижения этих целей представляют эластомеры, выдерживающие резкие перепады температур и ударные нагрузки, и в частности полиорганосилоксаны, характеризующиеся высокой термической стойкостью [1].

Целью данной работы является синтез органозамещенных производных кремнезема  $ASiP-CuCl_2$  в условиях кислого каталитического воздействия  $CuCl_2$  с добавлением его разного количества (0,01÷0,5 мас.%). При использовании в качестве катализатора  $CuCl_2$  реакция при 90°C идет значительно быстрее в сравнении с реакцией, катализируемой ДЭГ-К.

Было выявлено, что при замене щелочного катализатора ДЭГ-К на  $CuCl_2$ , происходит увеличение среднего размера частиц при добавлении  $CuCl_2$ , однако увеличение содержания  $CuCl_2$  со временем приводит к постепенному снижению размера образующихся частиц, достигая минимального значения 200 нм при 0,5 мас.%  $CuCl_2$  (см. рисунок)



Зависимость среднего размера частиц *ASiP-CuCl<sub>2</sub>* от содержания *CuCl<sub>2</sub>*.

Согласно измерениям размера частиц *ASiP-CuCl<sub>2</sub>*, их кинематической вязкости и электронных спектров, *CuCl<sub>2</sub>* выполняет не только каталитическую функцию. Хлорид меди вступает в комплексообразующие и окислительно-восстановительные процессы, протекающие с участием полиоксиэтиленгликоля. ПЭГ, в свою очередь, является составной частью структуры *ASiP-CuCl<sub>2</sub>*. Благодаря этим процессам изменение содержания хлорида меди влечёт за собой значительное воздействие на структурную организацию *ASiP-CuCl<sub>2</sub>*.

Установлено, что наиболее оптимальное содержание модификатора в герметике составляет 0.1% масс. от массы системы, по комплексу свойств наиболее перспективен модификатор кислой природы *ASiP-CuCl<sub>2</sub>* с содержанием *CuCl<sub>2</sub>* 0,5% масс. от содержания ПЭГ-ТЕОС.

### Источники

1. Sheiko S., Sumerlin B.S., Matyjaszewski K // Progress in Polymer Science. 2008. Vol. 33. P. 759–785.
2. Yakimansky A. V., Meleshko T. K., Ilgach D. M., Bauman M. A., Anan'eva T. D., Klapshina L. G., Lermontova S. A., Balalaeva I. V., Douglas W. E. // Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. 2013. Vol. 51. P. 4267–4281.

## ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ МЕМБРАНЫ

Р.Р. Насыбуллин

Науч рук. докт. хим. наук Р.С. Давлетбаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

nasybullin.ruzil@mail.ru

В представленной исследовательской работе был изучен такой вид материала, как полиуретановая мембрана. Она имеет хорошую водонепроницаемость, а также проявляет весьма огромную производительность и имеет хорошую перспективность в использовании для разделения водно-спиртовых смесей и паропроницаемых материалов. Паропроницаемость полиуретанов возрастает с повышением массовой доли нелетучих компонентов.

**Ключевые слова:** полиуретаны, водонепроницаемость, материал, первапорационные мембраны.

## POLYURETHANE WATERPROOF MEMBRANES

R.R. Nasybullin

KSPEU, Kazan, Tatarstan

nasybullin.ruzil@mail.ru

In the presented research paper, such a type of material as a polyurethane membrane was studied. It has good water resistance, and also shows very great performance and has good prospects for use for the separation of water-alcohol mixtures and vapor-permeable materials. The vapor permeability of polyurethanes increases with an increase in the mass fraction of non-volatile components.

**Keywords:** polyurethanes, water resistance, material, pervaporation membranes.

Мембранное разделение – это процедура разделения смесей с помощью таких материалов, как мембрана. Мембраны – полупроницаемые перегородки, которые селективно (избирательно) пропускают компоненты газовой или жидкой смеси.

Принцип мембранного разделения основан на том, что скорость проникновения компонентов смеси через селективный слой мембраны зависит от разницы парциального давления между двумя сторонами мембраны.

Первапорация – это процесс разделения, при котором разделяемая смесь циркулирует в контакте с одной стороной непористой мембраны, а компоненты этой смеси сорбируются на ней и проходят через мембрану с постоянной скоростью. Первапорация широко признана в сфере химической промышленности как эффективный процесс разделения и регенерации компонентов жидких смесях.

За последние два десятилетия первапорация нашла широкое применение, включая в себя разделение жидких углеводородов [1-3], удаление летучих органических соединений (ЛОС) из воды [4-5].

Полиуретаны является одним из видов полимерных материалов, играющих большую роль в промышленности. Их производство считается первым значимым достижением в химической органике изоцианатов, исследования в области которых были начаты приблизительно около века назад. К полиуретанам относят высокомолекулярные соединения, содержащие значительное число полиуретановых групп, не зависящих от строения остальной части молекулы.

Полиуретаны обладают важнейшими физико-механическими свойствами, владеют широким диапазоном твердости, эластичности, стойкостью к истиранию [6].

Полиуретаны, полученные на основе гиперразветвленных аминоэфиров борной кислоты (АЭБК) оказались весьма перспективными. Одна из причин проницаемости паров воды сквозь пористый материал может быть связана с тем, что поры гигроскопичны и свободно заполняются водой. Чтобы это доказать, было исследовано водопоглощение исходных и предварительно нагретых образцов пористого полиуретана. [7-8]

Мембраны используются для следующих целей:

- Отделение азота/кислорода от воздуха (обычно только до 99,5%);
- Восстановление водорода из потоков продуктов аммиачных заводов;
- Очистка сточных вод.

Таким образом, можно делать итог, что паропроницаемость мембран вырастает с ростом массовой доли нелетучих компонентов и с повышением молекулярной массы полиуретанов, а еще то, что первапорационные полиуретановые мембраны являются водонепроницаемыми. Это доказывает, что полиуретановые мембраны обладают большой перспективностью в развитии для использования его в качестве очистного материала.

#### **Источники**

1. Nomula S. Effect of Solvent Polarity in Ionomer Solutions // *Macromolecules*. 2001. Vol. 34. № 4. PP. 925–930.

2. Jaisankar S.N. Preparation and properties of semi-interpenetrating polymer networks based on polyurethane ionomer/polyvinyl chloride // Journal of Materials Science. 2000. Vol. 35. PP. 1065–1068.
3. Wang X. Syntheses of poly(ethylene oxide) polyurethane ionomers // Journal of Applied Polymer Science. 2000. Vol. 77. № 1. PP. 184–188.
4. Polizos G. Structure and electrical conductivity in novel polyurethane ionomers // Polymer International. 2000. Vol. 49. № 9. PP. 987–992.
5. Tsonos C. Influence of Ionic Content in Polyurethane Ionomer Solutions // J. Phys. Chem. B. 2000. Vol. 39. № 4. PP. 155–174.
6. Мазурин В.Л. Полиуретан как конструкционный материал XXI века // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2013. Выпуск 2. С. 165-170.
7. Сироткин О.С. Сироткин Р.О. Химия (Основы единой химии) // М.: КНОРУС. 2017. 364 с.
8. Сироткин О.С. Основы современного материаловедения. М.: ИНФРА-М. 2019. 364 с.

УДК 544.6.018.47-036.5

## ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ИОНОМЕРЫ В КАЧЕСТВЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ ГЕЛЬ-ЭЛЕКТРОЛИТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЛИТИЕВЫХ ИСТОЧНИКАХ ТОКА

А.А. Низамов<sup>1</sup>, М.С. Ваганов<sup>2</sup>, А.Р. Давлетбаева<sup>3</sup>, В.Р. Васильев<sup>4</sup>, Р.Р. Насыбуллин<sup>5</sup>

<sup>1,2,5</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО КНИТУ, г. Казань

<sup>4</sup>ФГАОУ ВО КФУ

<sup>1</sup>nizamov564@mail.ru

В данной работе на основе модифицированных аминоэфиров *орто*-фосфорной кислоты и алифатического полиизоцианата были получены полиуретановые матрицы для гель-электролитов литиевых источников тока. Были исследованы особенности надмолекулярной организации полученных полимеров с использованием измерений температурных зависимостей тангенса угла диэлектрических потерь, термомеханического и динамического механического анализов. Методом спектроскопии электрохимического импеданса изучены ионная проводимость тонкопленочных полиуретановых образцов после их выдержки в 1 М растворе LiBF<sub>4</sub> в  $\gamma$ -бутиролактоне.

**Ключевые слова:** литиевые источники тока, жидкий электролит, полимерный гель-электролит, полимерная матрица, ионы Li<sup>+</sup>, ионная проводимость.

## POLYURETHANE IONOMERS AS A MATRIX FOR GEL-ELECTROLYTES USED IN LITHIUM POWER SOURCES

A.A. Nizamov<sup>1</sup>, M.S. Vaganov<sup>2</sup>, A.R. Davletbaeva<sup>3</sup>, B.R. Vasilyev<sup>4</sup>, R.R. Nasybllin<sup>5</sup>

<sup>1,2,5</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>3</sup>KNRTU, Kazan, Russia

<sup>4</sup>KFU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>nizamov564@mail.ru

In this research work, polyurethane matrices for gel electrolytes for lithium power sources based on modified aminoethers of ortho-phosphoric acid and polyisocyanates were obtained. The supramolecular organization features of the polymers were studied by measurements of the temperature dependence of the dielectric loss tangent, thermomechanical and dynamic mechanical analyses. The ionic conductivity of thin-film polyurethane samples after exposure to 1 M solution of LiBF<sub>4</sub> in  $\gamma$ -butyrolactone was studied by method of electrochemical impedance spectroscopy.

**Keywords:** lithium power sources, liquid electrolyte, recovery, gel-polymer electrolyte, polymer matrix, ions Li<sup>+</sup>, ionic conductivity.

Одним из способов улучшения характеристик литиевых источников тока (ЛИТ) является замена жидкого электролита на полимерный гель-электролит (ПГЭ), представляющий собой полимерную матрицу, пропитанную раствором соли лития [1]. Применение гель-электролитов в ЛИТ нивелирует проблемы, возникающие при использовании жидких электролитных систем. Поэтому разработка ПГЭ с высоким комплексом свойств является актуальной задачей с точки зрения получения ЛИТ с высокой энергоемкостью, длительным сроком службы и повышенным уровнем безопасности. Последнее достигается отсутствием возможности утечки органического растворителя и снижением вероятности его возгорания.

Для того, чтобы ионы Li<sup>+</sup> могли перемещаться по полимерной матрице, необходимо наличие в составе основной или боковой цепи полимера гетероатомов с высокой электронной плотностью, которые несут на себе частичный отрицательный заряд и могут координировать ионы лития [1]. При этом необходимо, чтобы гетероатомы располагались в полимерной цепи с определенной периодичностью, поскольку от этого фактора будет зависеть эффективность переноса ионов лития сквозь полимерную матрицу. В этом отношении перспективным направлением является получение гель-электролитов с использованием полимеров

иономерной природы, имеющие в своей структуре кластеризованные ионные группы, способные проводить катионы.

В данной работе получены и исследованы надмолекулярная структура и свойства полиуретановых матриц, полученных с использованием модифицированных ангидридами карбоновых кислот аминоэфиров *орто*-фосфорной кислоты (см. рисунок) [2] и полиизоцианата алифатической природы.

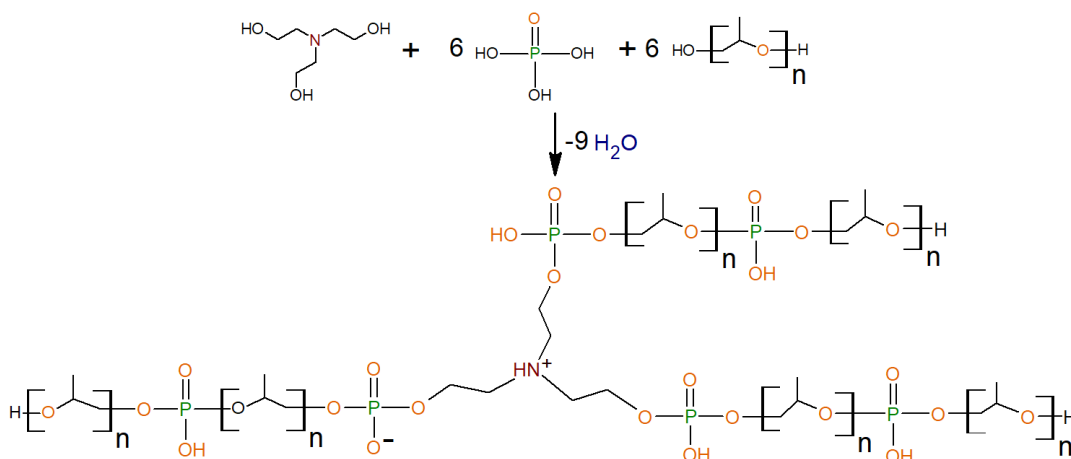


Схема синтеза аминоэфиров *орто*-фосфорной кислоты [2]

Для исследования надмолекулярной структуры синтезированных полиуретановых иономеров были проведены измерения температурных зависимостей тангенса угла диэлектрических потерь, термомеханический и динамический механический анализ. Результаты исследований свидетельствуют о наличии в структуре полимеров ионных кластеров, выстроенных в виде катион-проводящих каналов, способные проводить ионы лития. При этом установлено, что внедрение в состав кластеров карбоксилат-анионов усиливает процессы микрофазового разделения в полимерах.

С использованием метода спектроскопии электрохимического импеданса определено, что модификация аминоэфиров *орто*-фосфорной кислоты ангидридами, приводит к увеличению ионной проводимости гелевых электролитов, полученных путем пропитки тонкопленочных полиуретановых образцов в 1 М растворе LiBF<sub>4</sub> в  $\gamma$ -бутиролактоне, с  $6,2 \cdot 10^{-4}$  до  $3,0 \cdot 10^{-3}$  См/см. Поскольку проводимость жидких электролитов находится в интервале  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  См/см, то можно сделать вывод о перспективности использования полученных полиуретановых электролитов в современных литий-ионных аккумуляторах.



## Источники

1. Баскакова Ю.В., Ярмоленко О.В., Ефимов О.Н. Полимерные гель-электролиты для литиевых источников тока // Успехи химии. – 2012. – Т. 81. – № 4. – С. 367-380.

2. Davletbaeva I.M., Sazonov O.O., Fazlyev A.R., Davletbaev R.S., Efimov S.V., Klochkov V.V. // RSC Adv. 2019, №9. P.18599-18608.

УДК 620.22

## СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ КОТЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

Р.Р. Демидов, Р.Р. Шайдуллин, Н.Н. Никитин

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

shaydullin.2003@mail.ru, 1nikita.nikolaevich2003@mail.ru, ramil-demidov24@mail.ru

В данной статье рассмотрены различные способы избавления трубопроводов котлов от коррозии.

**Ключевые слова:** коррозия, трубопровод, диффузионное хромирование, никелевые сплавы, ЭМАП метод.

## MODERN WAYS OF PROTECTING BOILER PIPELINES FROM CORROSION

N.N. Nikitin, R.R. Shaidullin, R.R. Demidov

KSPEU, Kazan, Russia

shaydullin.2003@mail.ru, 1nikita.nikolaevich2003@mail.ru, ramil-demidov24@mail.ru

This article discusses various ways to rid boiler pipelines of corrosion.

**Keywords:** corrosion, pipeline, diffusion chrome plating, nickel alloys, EAT method.

Термин «коррозия» относится к химическому и механическому повреждению поверхностей металлической оболочки трубопровода под воздействием окружающей среды. Существует внешняя и внутренняя коррозия, причиной их возникновения могут выступать: атмосферные явления, грунтовыми водами или агрессивными средами, транспортируемыми внутри магистрального трубопровода. Коррозия – это многолетний процесс, который привести к методическому разрушению

оборудования. Защита трубопроводов котлов от коррозии является одной из важнейших задач в трубопроводной промышленности.

В первую очередь для защиты трубопроводов котлов от коррозии необходимо провести диагностику состояния внутренней поверхности трубопровода и, наиболее точно спрогнозировать работоспособности всей системы. Диагностика особенно важна для трубопроводов с длительным сроком службы. Своевременная и точная диагностика обеспечивает продление срока службы трубопровода, его бесперебойную эксплуатацию, уменьшает количество повреждений и снижает стоимость технического обслуживанию. Поэтому обратим внимание на метод электромагнитноакустических преобразователей (ЭМАП) (метод сухого ультразвука). Этот метод представляет собой запуск ультразвуковых волн напрямую в стенку трубы с помощью бесконтактных ЭМАП, расположенных на внутритрубном ЭМАП-дефектоскопе [1]. Этот дефектоскоп может перемещаться в газовой среде. Поэтому данный метод еще называют методом «сухого ультразвука». ЭМАП-метод более чем другие магнитные методы (TFI, MFL) зависит от дефектов геометрии внутренней поверхности трубопровода.

Одним из наиболее часто применяемых и эффективных промышленных средств, используемых для очистки котлов и трубопроводов, парогенераторов (ТЭС), являются жидкости серий «СП-В» и «СП-ОМ» [2]. Их можно использовать как для замкнутых контуров, так и для консервации металлических поверхностей оборудования. Большой ассортимент изделий «СП-В» и «СП-ОМ» позволяет использовать их со всеми металлами и сплавами, включая оцинкованное оборудование и полимерные уплотнения. Температура подвески и стойки газопровода иногда превышает температуру поверхности нагрева, поэтому используются сплавы, содержащие хром и никель (содержание хрома должно составлять не менее 50%). В установках на твердом топливе для этой цели используется сталь X23N18[3]. Диффузионное хромирование используется для повышения стойкости некоторых компонентов оборудования к эрозии (особенно форсунок)[4]. В результате этого процесса стойкость аустенитной хромоникелевой стали к эрозионным повреждениям была увеличена в 20-25 раз. Это затрудняет прилипание золы к зоне нагрева, а также повышает ее температуру плавления. Металлоорганические соединения железа, бария и меди обладают таким же эффектом. Это вещество расходует всего 1 килограмм на 2 тонны мазута. Добавление 1,5%  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  при температуре до 700 °С уменьшает сернистую коррозию низкоуглеродистой стали, а также

снижает содержание серы в выхлопных газах. Внутренняя поверхность труб покрыта оксидами железа, которые увеличивают термическое напряжение. Чтобы уменьшить эти нагрузки, систему следует регулярно очищать кислотой. Коррозионное повреждение трубопроводов вызвано постоянным контактом электрохимически агрессивной среды с блуждающими токами. Основными методами защиты труб от коррозии являются защита с помощью защитных устройств, электрохимическая защита катодным током и нанесение различных покрытий.

Углубляясь в тему защиты от дальнейшей коррозии с помощью выбора правильного материала, среди прочих стоит выделить никелевые сплавы. Они обладают превосходной коррозионной стойкостью и механическими свойствами при высоких температурах [5]. По преимущественному механизму упрочнения их можно разделить на дисперсионно-упрочняющие и упрочняющие на твердый раствор сплавы. На сегодняшний день для труб котлов используется множество сплавов на основе никеля, в том числе сплав 230, сплав 282, ССА 617, сплав 600, сплав 625, сплав 693, Нимоник 75, Нимоник 263, Сплав 718, Сплав 740, HR6W, GH2984 и т. д. Кроме того, некоторые сплавы на основе никеля (например, Alloy 625 и 686) также применяются для создания покрытий, которые служат эффективными твердотельными диффузионными барьерами между коррозионной средой и окружающей средой.

### **Источники**

1. Козырев Н.Б. Об особенностях обнаружения стресс-коррозионных повреждений магистральных газопроводов // Экспозиция Нефть Газ. 2014. №6 (38).

2. Галкин М. Л. Инновационный ингибитор коррозии - бактерицид для водных и эмульсионных систем // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 9. С. 37–45.

3. Улмасов, А. Б., Глотов С. А. Исследование эрозии низковольтного электрода электроразрядного реактора // Избранные доклады 66-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 264–265.

4. Баландин Ю. А. Повышение износостойкости стальных изделий диффузионным боромеднением, хромированием и борохромированием в псевдооживленном слое // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2003. № 1. С. 76–77.

5. Кутепов С. Н., Клементьев Д. С. Влияние диффузионного хромирования на коррозионную стойкость арматурных малоуглеродистых сталей // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей 12-ой Международной научно-практической конференции, Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 217–220.

УДК 66.081.6; 004.942

## **БОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЛИУРЕТАНЫ В КАЧЕСТВЕ ПАРОПРОНИЦАЕМЫХ И ГАЗОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ МЕМБРАН**

Н.М. Панов

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент О.О. Сазонов

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г.Казань

panob.nikitka.ru@mail.ru

Проведена модификация гиперразветвленной структуры АЭБК бифункциональными аддуктами, синтезированными на основе диглицидилового эфира 4,4'-дигидрокси-2,2-дифенилпропана и моноэтаноламина для управления макромолекулярной и надмолекулярной структурой АЭБК. Показана эффективность полиуретанов, получаемых на основе модифицированных АЭБК в качестве паропроницаемых и газоразделительных мембран.

**Ключевые слова:** аминоэфиры борной кислоты, полиуретановые плёнки, модификация паропроницаемость, газопроницаемость.

## **ORGANIC BORON POLYURETHANES AS VAPOR-PERMEABLE AND GAS-SEPARATING MEMBRANES**

N.M. Panov

FGBOU VO "KNRTU", Kazan

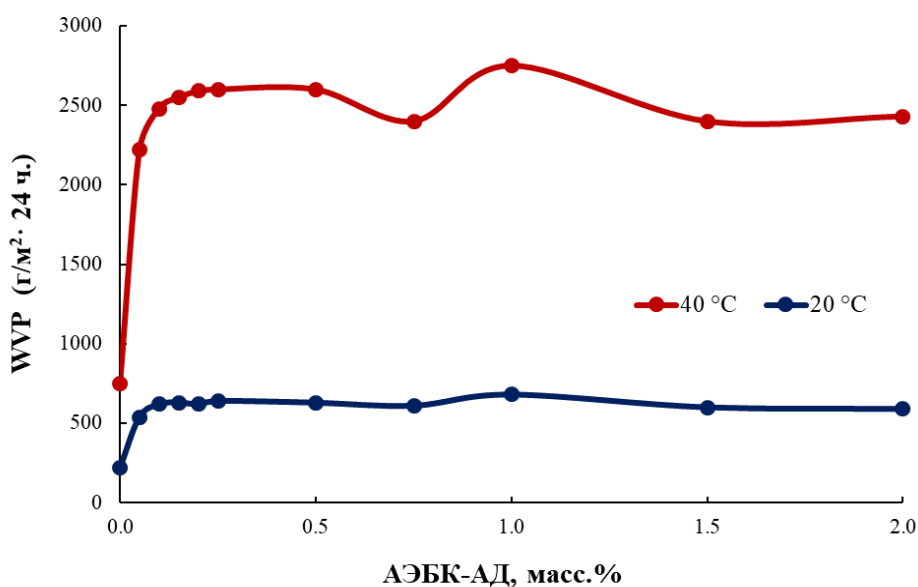
panob.nikitka.ru@mail.ru

The hyperbranched structure of AEBA was modified with adduct bistructures synthesized on the basis of 4,4'-dihydroxy-2,2-diphenylpropane diglycidyl ether and monoethanolamine to control the macromolecular and supramolecular structure of AEBA. The effectiveness of polyurethanes used on the basis of modified AEBA as vapor-permeable and gas-separating membranes is shown.

**Keywords:** aminoesters of boric acid, polyurethane films, vapor permeability modification, gas permeability.

Сверхразветвленные полимеры представляют собой сильно разветвленные макромолекулы и обладают сходством с дендримерами в отношении физических и химических свойств, таких как наличие многофункциональных групп, низкая вязкость и высокая растворимость [1]. Сверхразветвленные полимеры привлекли пристальное внимание при разработке макромолекул и функциональных материалов из-за их уникальных физических и химических свойств, возникающих в результате разветвленной архитектуры и большого количества функциональных групп [2].

Паропроницаемость образцов АЭБК-ЭМ-ПУ оказалась относительно высокой и зависит от содержания ЭМ. При низких концентрациях аддукта наблюдается резкое увеличение значения паропроницаемости при 20 °С и 40 °С.



Паропроницаемость при различной температуре (грамм/ м<sup>2</sup> за 24 часа) для АЭБК-ЭМ-ПУ

Исследования паропроницаемости (см. рисунок) показали, что паропроницаемость АЭБК-ЭМ-ПУ меняется не аддитивно росту содержания ЭМ, а с областями падения и последующего повышения.

В таблице 1 представлены коэффициенты проницаемости различных газов для АЭБК-ЭМ-ПУ, полученных при различном содержании ЭМ. Полученные результаты подтверждают выводы об иерархической организации надмолекулярной структуры АЭБК-ЭМ-ПУ и

обусловленными этим обстоятельством размерами и химическим строением поверхности пор.

Таблица 1

Коэффициенты проницаемости для АЭБК-ЭМ-ПУ, полученных при различном содержании ЭМ

Газ	Р, Баррер							
	АД, % масс							
	0.0	0.001	0.02	0.1	0.18	0.3	0.5	0.8
He	17	25	17	45.7	12	9200	32	6.5
N <sub>2</sub>	9.7	14	9.4	36	5.5	4400	15.9	2.9
CH <sub>4</sub>	8.4	6.1	3	26.3	17.6	5750	7.8	4.7
CO <sub>2</sub>	5.8	4.8	3.8	16.5	6.3	3300	8.7	2.7
NH <sub>3</sub>	6.3	7.6	12.5	19.8	6.9	3500	10	3.3
H <sub>2</sub> S	-	-	-	-	5.2	1900	-	-
He*	8.7		20.4	50.2	9	8000	13.6	4.9
N <sub>2</sub> *	-	17.8	-	-	-	-	-	-

Очень низкие значения газопроницаемости для макропористых полимеров являются следствием отсутствия между пора́ми сквозных каналов. Проявление же полимерными пленочными образцами высоких значений паропроницаемости свидетельствует о том, что граница раздела между пора́ми является гидрофильной. Знание закономерностей порообразования исследуемых полиуретанов приобретает актуальность для дальнейших работ, направленных на повышение их газотранспортных характеристик.

#### Источники

1. Y. Zheng, S. Li, Z. Weng, C. Gao, Hyperbranched polymers: advances from synthesis to applications, Chem. Soc. Rev. 44 (12) (2015) 4091–4130
2. Davletbaeva I.M., Emelina O.Yu., Vorotyntsev I.V., Davletbaev R.S., Grebennikova E.S., Petukhov A. N., Akhmetshina A.I., Sazanova T.S. and Loskutov V.V., RSC Adv.. 2015. 5. 65674.

## **НЕКОТОРЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА И ИХ ОСОБЕННОСТИ**

Ш.К. Сабитов

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. А.А. Чичиров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
larrypoistone@gmail.com

Электролизер – это устройство, которое используется для преобразования электрической энергии в химическую энергию путем электролиза воды или других электролитов. Они играют важную роль в процессах производства водорода, хлора и других химических продуктов. В этой статье мы рассмотрим конструкцию и материалы, используемые в электролизерах.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, энергетика.

## **SOME MATERIALS IN THE DESIGN OF THE ELECTROLYZER AND THEIR FEATURES**

Sh.K. Sabitov <sup>1</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
larrypoistone@gmail.com

An electrolyser is a device that is used to convert electrical energy into chemical energy by electrolyzing water or other electrolytes. They play an important role in the production of hydrogen, chlorine and other chemical products. In this article, we will look at the design and materials used in electrolyzers.

**Key words:** hydrogen energy, energy.

Электролизер состоит из двух электродов - катода и анода, разделенных электролитической камерой. Катод - это отрицательный электрод, который притягивает положительные ионы, а анод - это положительный электрод, который притягивает отрицательные ионы. Электролитическая камера наполнена электролитом, который содержит ионы, которые будут разделены в процессе электролиза. Кроме того, электролизер может иметь систему охлаждения, которая предотвращает перегрев и повреждение устройства[1]. Он также может иметь систему контроля тока и напряжения, которая обеспечивает точность процесса

электролиза. Материалы, используемые в электролизерах, должны быть химически стойкими, не подверженными коррозии и иметь хорошую электропроводность[2].

Некоторые из материалов, которые могут использоваться для электродов, включают в себя[3,4]:

Платина - это материал, который обычно используется для катода в электролизерах, которые работают с водой. Он является химически стойким и имеет высокую электропроводность.

Графит – удивительный материал, который находит применение во многих областях. Он является одним из самых прочных материалов, но в то же время легким и гибким. Благодаря своей высокой электропроводности, он широко используется в электронике и электротехнике. Например, графитные электроды используются в процессе электролиза воды, где он выступает в качестве анода. Однако, графит не является универсальным материалом для всех типов электролизеров. Например, при использовании хлоридов и серной кислоты лучше использовать нержавеющую сталь в качестве анода. Этот материал также химически стоек, но его электропроводность несколько ниже, чем у платины или графита.

Важно отметить, что выбор материала для анода в электролизере зависит от многих факторов, включая тип реагента, используемый в процессе, и требования к производительности. Также стоит учитывать стоимость материала и его доступность.

Несмотря на это, графит и нержавеющая сталь являются важными материалами в процессе электролиза, который является одним из ключевых методов производства водорода и других химических веществ. Эти материалы обеспечивают стабильную и эффективную работу электролизеров, что является необходимым условием для многих промышленных процессов и научных исследований.

В данной статье, было изучено строение электролизера и приведен небольшой анализ материала, используемого при его построении и некоторые особенности материалов.

### **Источники**

1. Hydrogen Analysis Resource Center. (2016), Hydrogen Pipelines September 2016, Hydrogen Tools, [Электронный ресурс]. [www.h2tools.org/sites/default/files/imports/files//Hydrogen%2520Pipelines%2520September%25202016.xlsx](http://www.h2tools.org/sites/default/files/imports/files//Hydrogen%2520Pipelines%2520September%25202016.xlsx) (дата обращения: 12.01.23).



2. Staffell, L. et al. The role of Hydrogen and Fuel Cells in the Global Energy System, The Royal Society of Chemistry, [Электронный ресурс]. [www.pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2019/ee/c8ee01157e](http://www.pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2019/ee/c8ee01157e) (дата обращения: 1.03.23).

3. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020;22(6):79-91. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-6-79-91>

4. NREL (National Renewable Energy Laboratory). (2020), Gasoline Internal Combustion Engine Vehicle, NREL, [Электронный ресурс]. [www.atb.nrel.gov/transportation/2020/index.html?t=lg](http://www.atb.nrel.gov/transportation/2020/index.html?t=lg). (дата обращения: 10.01.23).

УДК 541.64:66.095.26

## ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

О.О. Сазонов, И.Н. Закиров

Науч. рук. док. хим. наук, проф. И.М. Давлетбаева

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

[sazonov.oleg1995@yandex.ru](mailto:sazonov.oleg1995@yandex.ru)

На основе аминоэфиров орто-фосфорной кислоты и полиизоцианата получены лакокрасочные материалы. Выявлена наилучшая технология и состав лака. Показано, что полиуретановые покрытия являются прочными на механическое воздействие, в том числе ударное. Проявляют высокие адгезионные характеристики к керамической плитке и стали. Установлено, что адгезионные характеристики проявляют неаддитивный рост с уменьшением в лакокрасочные материалы летучих соединений. Показано, что изменение содержания нелетучих соединений дает возможность изменять динамическую вязкость лакокрасочные материалы и толщину однослойного покрытия.

**Ключевые слова:** полиуретаны, эфиры *орто*-фосфорной кислоты, аминоэфиры *орто*-фосфорной кислоты, лакокрасочный материал.

# ORGANOPHOSPHOROUS POLYURETHANE PROTECTIVE COATINGS

O.O. Sazonov, I.N. Zakirov

KNRTU, Kazan

sazonov.oleg1995@yandex.ru

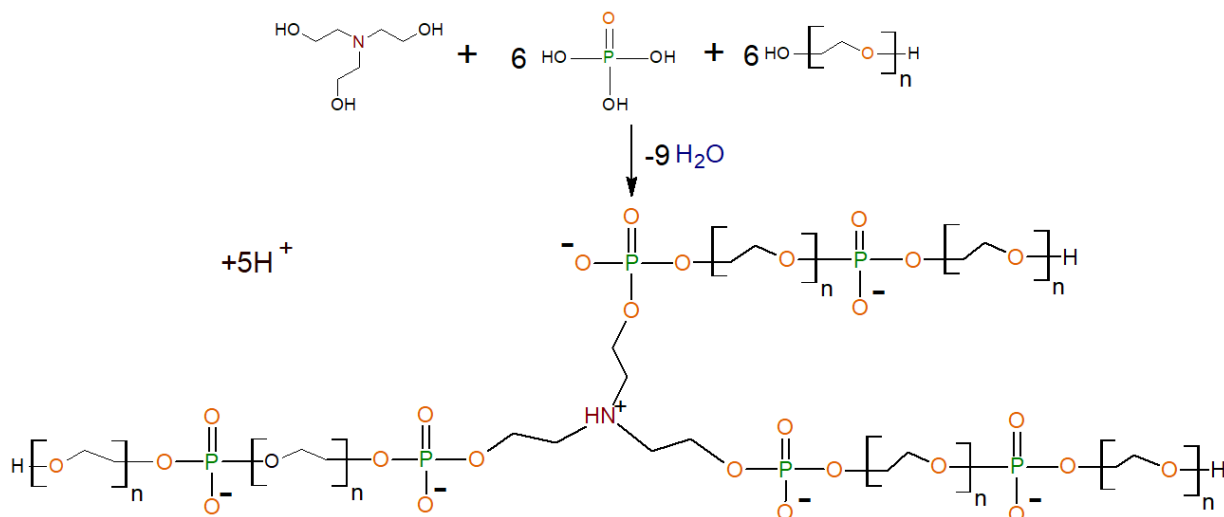
Based on aminoethers of *ortho*-phosphoric acid and polyisocyanate, paints and varnishes were obtained. The best technology and composition of the lacquer has been identified. It is shown that polyurethane coatings are resistant to mechanical impact, including impact. Show high adhesive characteristics to a ceramic tile and steel. It has been established that the adhesive characteristics exhibit a non-additive growth with a decrease in volatile compounds in paintwork materials. It is shown that a change in the content of non-volatile compounds makes it possible to change the dynamic viscosity of paintwork materials and the thickness of a single-layer coating.

**Key words:** polyurethanes, esters of *ortho*-phosphoric acid, aminoethers of *ortho*-phosphoric acid, paintwork material.

Защитные покрытия производятся из таких материалов, как полимеры, краски, лаки и пластики. Эти материалы используются для защиты поверхности от внешних факторов, таких как коррозия, ультрафиолетовое излучение, высокая температура и другие неблагоприятные условия. Защитные покрытия на основе иономеров, могут обеспечивать эффективную защиту в широком диапазоне условий эксплуатации, что делает их очень популярными в различных промышленных областях [1-2].

Иономеры на основе фосфорной кислоты также применяются для создания защитных покрытий, особенно в области электроизоляции, так как они обладают высокой стабильностью при действии влаги и механических нагрузок.

Перспективными оказались полиуретановые иономеры, получаемые на основе элементарноорганических разветвленных аминоэфиров *орто*фосфорной кислоты (АЭФК) (см. рисунок).



Структурная формула АЭФК. (n=17)

Таблица 1

Физико-механические характеристики ПУ на основе разветвленного полиэфира

Полиуретан	Модуль Юнга, МПа	Прочность, МПа	Твердость по маятнику, усл.ед
ПУ-РП-3	1050	40	0,65
ПУ-РП-6	1100	55	0,75
ПУ-РП-9	850	30	0,65
Полиол	205	20	0,50

Согласно принятым стандартам при нанесении кистью время истечения лакокрасочного материала (ЛКМ) через вискозиметр ВЗ-4 должен лежать в пределах 30-40 сек. При нанесении лакокрасочного материала с использованием краскопульты время истечения должно находиться в пределах 18-22 сек. Важным обстоятельством здесь является также устойчивость этих показателей в течение времени использования ЛКМ.

В таблице 2 приведены показатели реологических свойств ЛКМ в зависимости от остатка сухой массы и времени после смешения исходных компонентов. Сравнение результатов позволяет заключить, что при использовании АЭФК и ПИЦ реакция уретанообразования протекает уже при обычных температурных условиях. При этом на скорость реакции оказывает значительное влияние концентрация исходных реагентов. Очевидно, что процесс является каталитическим и обусловлен химическим строением АЭФК.

Таблица 2

Время истечения ЛКМ (сек.) на основе разветвлённого полиола и ПИЦ после их смешения в толуоле при различном остатке сухой массы. T=20°C

Время после смешения АЭФК-6 с ПИЦ, час	Содержание сухих веществ, % вес									
	0	0	0	3	5	8	0	3	5	0
Время истечения, сек.										
0			0	0	0	0	1	2	3	3
1		0	0	1	2	3	3	9	1	0
2	0	0	1	3	3	6	6	2	3	2
3	0	0	1	7	8	7	7	3	5	28
4	0	0	2	8	9	8	8	21	81	00

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 19-19-00136.*

### Источники

1. P. Krol, B. Krol, Structures, properties and applications of the polyurethane ionomers, Journal Mater. Sci. 55 (2020) 73–87.
2. O. Jaudouin, J.-J. Ionomer-based polyurethanes: a comparative study of properties and applications, Polymer International. 61 (2012) 495–540.

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГКОПЛАВКОЙ СОЛИ НА ПРОЦЕСС СКОРОСТНОГО СПЕКАНИЯ КЕРАМИКИ В ПОЛЕ СВЧ

Д.А. Слюднева

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.А. Женжурист

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

diana67890@bk.ru

В статье рассмотрены результаты скоростного спекания глин в электромагнитном поле СВЧ. Использованы огнеупорная Нижне-Увельская, гидрослюдистый Калининский суглинок, легкоплавкие соли NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Подобраны составы и получены образцы без дефектов при спекании в поле СВЧ.

**Ключевые слова:** поле СВЧ, спекание, огнеупорная, гидрослюдистая глины, соли NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

## INFLUENCE OF FUSIBLE SALT ON THE HIGH-SPEED SINTERING PROCESS OF CERAMICS IN THE MICROWAVE FIELD

D.A. Sliudneva

KSPEU, Kazan, Russia

diana67890@bk.ru

The article deals with the results of high-speed sintering of clays in the microwave electromagnetic field. We used refractory Nizhne-Uvelsky, hydrosлюдite Kalininsky clay loam, fusible salts NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Selected compositions and obtained samples without defects during sintering in the microwave field.

**Keywords:** microwave field, sintering, refractory, hydrosлюдite clay, NaCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> salts.

Скоростное спекание керамики в электромагнитном поле СВЧ имеет существенные преимущества над традиционной технологией, которые связаны, прежде всего, с высокой экологической чистотой технологического процесса и возможностью существенно повысить эксплуатационные характеристики материала при одновременной экономии энергии технологического процесса. Экологическая чистота технологии нагрева в электромагнитном поле связана с отсутствием сжигания углеводородного сырья. Кроме этого, механизм нагрева изделия

из центра к периферии изделия имеет принципиальные отличия от традиционного механизма нагрева конвекцией, что приводит к равномерному спеканию материала и за счет скоростного нагрева формированию наноразмерной структуры материала, обладающей особыми свойствами [1, 2].

Трудности спекания глинистых композиций в высокочастотном электромагнитном поле связаны с особенностями их минерального состава и многокомпонентностью структуры [3]. Различная реакция глинистых минералов на электромагнитное поле приводит к растрескиванию образцов. Известно, что процесс спекания начинается в межзерновом пространстве композиции, а химические реакции и межфазное взаимодействие легче проходят в жидкой фазе [4]. По этим причинам важно было проверить влияние легкоплавких компонентов на процесс спекания в поле СВЧ.

Для экспериментальных исследований были выбраны глины: Нижне-Увельская каолинистая и гидрослюдистая глина-суглинок Калининского месторождения. В качестве легкоплавких добавок были выбраны соли:  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Температура плавления этих солей совпадает с температурой разложения глинистых минералов и началу образования обжиговых фаз. В результате подбора состава и обжига образцов были получены образцы без дефектов (см. рисунок).



Образцы, обожженные в поле СВЧ из глин: а, б, в из гидрослюдистой глины, г, д, е из каолинистой глины с добавками б, д соли  $\text{NaCl}$ , в, е  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

В процессе отработки состава для глины Калининского месторождения, содержащей в своем составе легкоплавкую слюду, оказалось достаточно 0,5-1,0 % легкоплавкой соли для получения качественно спеченного образца. Для каолиновой глины, образцы из которой при спекании были разорваны, необходимо было добавки 1,5-2,0 % соли.

Ранее проведенные исследования показали [4], что для глин на качество спекания образцов в поле СВЧ влияет величина энергии эндотермического процесса разложения основных глинистых минералов. Наличие легкоплавких компонентов в составе глинистой композиции способствует снижению энергии эндотермического процесса в температурном диапазоне разложения глинистых минералов обжигаемой глинистой композиции.

Исследования показали, что при спекании в поле СВЧ можно подобрать состав композиции, позволяющей при температуре до 1000 °С получить образцы без дефектов, даже из тугоплавкой каолиновой глины, спекаемой при температурах выше 1100 °С.

#### **Источники**

1. Быков Ю.В., Егоров С.В., Еремеев А.Г., Плотников И.В., Рыбаков К.И., Сорокин А.А., Холопцев В.В. Сверхбыстрое спекание оксидных керамических материалов при микроволновом нагреве // Журнал технической физики. 2018. Т 88. №. 3. С. 402–408.

2. Jaehun Cho, Qiang Li, Han Wang, Zhe Fan, Jin Li, Sichuang Xue, Vikrant, Haiyan Wang, Troy B, Amiya K, García R Edwin and Xinghang Zhang //High temperature deformability of ductile flash-sintered ceramics via in-situ compression. Nature communications. 2018. Т. 9. С. 1–9.

3. Усов П.Г., Губер Э.А. Изменение механической прочности изделий из глин в связи со структурными изменениями глинистых минералов при обжиге// Известия Томского политехнического университета. 2003. Т. 306. № 7. С.66–71.

4. Женжурист И.А. Влияние минерального состава глины на процесс спекания алюмосиликата в поле СВЧ // Неорганические материалы. 2020. Т. 56. № 8. С. 1–6.

## ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

К.А. Соколов<sup>1</sup>, А.С. Бондарева<sup>2</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. А.Е. Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ» Республика Татарстан, г. Казань, Россия

<sup>1</sup>treis0320@mail.ru, <sup>2</sup>bondareva.nast0708@gmail.com

В данной статье рассмотрена реализация эффекта памяти в полимерных материалах. Представлены специфические термины, как сшивка.

**Ключевые слова:** эффект памяти формы, полимер.

## SHAPE MEMORY EFFECT IN POLYMER MATERIALS

K.A. Sokolov, A.S. Bondareva

KSPEU, Kazan, Russia

treis0320@mail.ru, bondareva.nast0708@gmail.com

This article discusses the implementation of the memory effect in polymer materials. Specific terms such as crosslinking are presented.

**Keywords:** shape memory effect, polymer.

Эффект памяти формы – физическое явление, при котором пластически деформированный материал возобновляет свою первоначальную форму (как правило, при нагреве). Значит такой эффект состоит в высокоэластическом поведении материала, при котором происходит восстановление деформаций. Для металлов это действие обусловлено преобразованием структуры кристаллической решетки, состоящими в возникновении микрокристаллов мартенситной фазы. Эффектом памяти формы обладают также никель-титановые сплавы, биметаллические пластины, также термореактивные полимерные композиционные материалы, отвержденные в определенных условиях.

Имеется несколько материалов и металлических сплавов, которые при присутствии нагрева, после некоторой деформации, показывают такое явление, как возврат к первоначальной форме (проявляют своеобразную память). Одними из популярных сплавов, обладающими эффектом памяти формы, являются такие сплавы, как CuZnAl, CuAlNi, NiTi [1].



В сравнении с металлическими сплавами, обладающими эффектом памяти формы (ЭПФ), полимеры обладают рядом преимуществ: имеют низкую плотность, высокую способность к восстановлению деформации (до 98 %), легко поддаются обработке и окрашиванию, а также имеют низкую стоимость [2].

Реализацию ЭПФ в полимерах можно наблюдать при растяжении подогретого модифицированного материала (нарушается внутреннее равновесие в химических связях, вызывая упругие напряжения в его структуре), охлаждении (полимер застывает, сохраняя свою новую форму) и последующем нагреве, в результате которого полимер стремится вернуть первоначальную форму.

Полимеры с ЭПФ могут запоминать две и более форм, переходы между которыми могут инициироваться температурой, электрическим или магнитным полем. Для создания полимера с памятью формы необходимо модифицировать его внутреннюю структуру путем создания поперечных химических связей [3]. Процесс, который модифицирует внутреннюю молекулярную структуру материала, называют сшивкой полимеров.

В результате сшивки полимерам задают новые физические свойства, позволяющие существенно расширить сферы их применения. Сшитый полимер становится более прочным, тугоплавким и способен выдержать более высокую температуру по сравнению с несшитым аналогом. С целью реализации процесса сшивки следует разорвать несколько второстепенных межмолекулярных связей в каждой цепочке и использовать их для соединения между собой. Для получения сшитого полимера на современном производстве выделяют три наиболее популярных метода сшивки: радиационный, пероксидный и силановый. Первый – физический, а второй и третий – химический метод.

Одно из самых перспективных направлений практического применения полимеров с ЭПФ является медицина [4]. Также полимеры с ЭПФ получили широкое использование в термоусаживающихся изделиях. Используется в авиационной, космической и автомобильной технике, а именно соединительные втулки из никелида титана, из которого получается прочное вакуумплотное соединение, выдерживающее давление до 800 атм. Этот тип соединения заменяет сварку. А также предотвращает некоторые минусы сварного шва, такие как неотвратимое разупрочнение металла и последующее накапливание повреждений в переходной области между металлом и сварным швом [5].

### Источники

1. Алферов, Ж.И. Наноматериалы и нанотехнологии // Нано- и микросистемная техника. 2003. №8. С.3-13.
2. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы // Издательский центр «Академия», 2005. 192 с.
3. Михайлов, А.Н. Основы синтеза функциональноориентированных технологий машиностроения // ДонНТУ, 2009. 346 с.
4. Уорден, К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение // Техносфера, 2006. 236 с.
5. Бурханов, Г.С. Нанотехнологии в материаловедении // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №7. С. 2-11.

УДК 620.22

## МАТЕРИАЛЫ ИНЖЕНЕРНЫХ БАРЬЕРОВ

Э. Р. Утякова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент А.Е. Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

eva24999@mail.ru

В статье представлен анализ результатов исследований в области новых материалов, используемых в качестве инженерных барьеров.

**Ключевые слова:** радиация, радиационно-стойкие материалы, инженерно-барьерная защита, захоронение радиоактивных отходов.

## MATERIALS OF ENGINEERING BARRIERS

E.R. Utyakova

KSPEU, Kazan, Russia

eva24999@mail.ru

The article presents an analysis of research results in the field of new materials used as engineering barriers.

**Keywords:** radiation, radiation-resistant materials, engineering barrier protection, disposal of radioactive waste.

С изменением времени потребность человека в энергетических ресурсах постоянно возрастает. Поэтому ядерный синтез является

основным источником энергии в условиях роста промышленного производства.

Материалы, устойчивые к радиации, широко используются в спутниковом литье, ядерной реакторах, а также для захоронения радиоактивных отходов. Главными принципами таких материалов являются взаимосвязь между собственной структурой решетки, отсутствие дефектов, магнитная проводимость, температура и доза повреждения смещением [1].

В мировой деятельности захоронения радиоактивных отходов используются цемент и материалы на его основе в качестве инженерных барьеров безопасности. С химической точки зрения затвердевший цемент имеет высокий рН и образует продукты гидратации, обладающие сорбционными и ионообменными свойствами. С физической точки зрения он является жестким и устойчивым веществом с низкой гидравлической проницаемостью в затвердевшем виде, обеспечивающий безопасное перемещение и хранение радиоактивных отходов [2].

Хорошими инженерно-барьерными свойствами обладает и бентонит, также и бентонитоподобные глины обладают низкой водопроницаемостью, способностью к самовосстановлению и способностью закреплять свои качества на протяжении продолжительного периода. Благодаря этим свойствам бентонит используют в роли защитного при утилизации высокоактивных радиационных отходов [3]. Основным элементом таких бентонитов представляет собой глинистый минерал из группы набухающих слоистых силикатов, имеющих трехслойное строение – смектита – монтмориллонит, в центре конструкции которого находится 2:1 ряд, который состоит из пары тетраэдрических сеток, между которыми находится октаэдрическая сетка [4]. Изоморфными замены катионов в октаэдрических сетках, а иногда в тетраэдрических сетках получается за счет отрицательного заряда слоя. Заряд всего ряда нейтрализуется за счет присутствия обменных межслоевых катионов, что дает подвижность структуры и предоставляет доступ для адсорбции внешним и внутренним поверхностям в кристаллитах. Эти особенности состава определяют своеобразные свойства бентонитовых глин, особенно большую способность поглощать и пропускать вещества, то есть сорбционную, включая тяжелые металлы, изотопы цезия, плутония и другие [5]. За счет этих свойств бентонит используют в качестве барьерного материала при захоронении высокоактивных радиационных отходов (ВАО)[6].

Органические радиационно-стойкие материалы: стекловолокно и полиамидная пленка. Эти материалы устойчивы к гамма-излучению и

часто используются в ядерных реакторах (ядерный синтез). Были проведены эксперименты, в ходе которых оказывалось действие температур (температура жидкого азота ниже 77 К), материал подвергался облучению гамма – лучами дозой более 10 МГр, также были проанализированы прочность на изгиб. Радиационная стойкость снижается с уменьшением длины волны [1].

В данной работе рассмотрены наиболее используемые радиационно-стойкие материалы и их свойства. Самым доступным и подходящим для защиты от радиационного излучения является бетон и бентонит, их использование обусловлено дешевизной сырья для изготовления, высокой прочностью, низкой водопроницаемостью, радиационной стойкостью, а также способностью экранировать ионизирующие излучения.

### **Источники**

1. Yuexin Su, Yuting Ye. The Review of Types of Radiation Resistance Materials and Proposed Experiments // *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. 2386. 012090. DOI:10.1088/1742-6596/2386/1/012090.

2. Tyupina E. A., Kozlov P. P., Krupskaya V. V. Application of Cement-Based Materials as a Component of an Engineered Barrier System at Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste // *Energies*. 2023. Т. 16. № 2. С. 1–35.

3. Morozov I., Zakusin S., Kozlov P., Zakusina O., Roshchin M., Chernov M., Boldyrev K., Zaitseva T., Tyupina E., Krupskaya V. Bentonite–Concrete Interactions in Engineered Barrier Systems during the Isolation of Radioactive Waste Based on the Results of Short-Term Laboratory Experiments // *Applied Geochemistry and Clay Science*. 2022. Т. 12. № 6. 3074.

4. Buntin A., Agliulin V. Transformation of the structure and adsorption properties of bentonite during physical and chemical treatment // *Journal of Physics: Conference Series*. 2022. 2373(3). 032006.

5. Крупская В. В., Закусин С. В., Тюпина Е. А., Доржиева О. В., Чернов М. С., Бычкова Я. В. Преобразование структуры и адсорбционных свойств монтмориллонита при термохимическом воздействии // *Геохимия*. 2019. Т. 64. № 3. С. 300–319.

6. Марьинских С. Г., Жигарев В. В., Ильина О. А., Крупская В. В. Определение подвижности глинистых материалов, используемых при создании инженерных барьеров безопасности для изоляции радиоактивных отходов // *Радиоактивные отходы*. 2021. № 3 (16). С. 51–60.

## МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ АМФИФИЛЬНЫХ ОРГАНОЗАМЕЩЁННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КРЕМНЕЗЁМА НА СВОЙСТВА ГЕТЕРОЦЕПНЫХ ПОЛИМЕРОВ

З.З. Файзулина, И.М. Мухамадеев

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент И.И. Зарипов

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Россия

faizulina.alin@yandex.ru

В работе исследуется влияние амфифильных органозамещённых производных кремнезёма (ASiP) на время полимеризации октаметилциклотетрасилоксана и применение их в качестве модификатора, усиливающие физико-механические свойства силиконов и герметиков на их основе. Показано, что использование производных кремнезёма влияет на блок-сополимеры, свойства которых обусловлены процессами микрофазного разделения. Установлены реакционные условия синтеза, особенности строения и процессов самоорганизации ASiP. Исследованы реологические свойства полидиметилсилоксанов, модифицированных ASiP.

**Ключевые слова:** модификатор, амфифильные соединения, полидиметилсилоксан, герметики, надмолекулярная структура.

## MODIFYING EFFECT OF AMPHIPHILIC ORGANO-SUBSTITUTED SILICA DERIVATIVES ON THE PROPERTIES OF HETEROCHAIN POLYMERS

Z.Z. Faizulina, I.M. Mukhamadeev

KNRTU, Kazan, Russia

faizulina.alin@yandex.ru

The research investigates the effect of amphiphilic organo-substituted silica derivatives (ASiP) on the polymerization time of octamethylcyclotetrasiloxane and their use as a modifier that enhances the physical and mechanical properties of siloxanes and sealants based on them. It has been shown that the use of silica derivatives affects block copolymers whose properties are determined by microphase separation processes. The reaction conditions for the synthesis, the features of the structure and self-organization processes of ASiP established. The rheological properties of polydimethylsiloxanes modified with ASiP studied.

**Keywords:** modifier, amphiphilic compounds, polydimethylsiloxane, sealants, supramolecular structure.

В настоящий момент в полимерной химии амфифильные полимеры являются одним из наиболее перспективных и эффективных соединений [1,2]. Амфифильность обуславливает их спонтанную самоорганизацию и способность приводить к повышению совместимости между несовместимыми фазами. Одним из представителей таких соединений являются амфифильные производные кремнезёма. Они находят применение в качестве модификаторов, которые эффективно влияют на процессы микрофазного разделения блок-сополимеров.

В работе на основе тетраэтоксисилана, полиоксиэтиленгликоля и полидиметилсилоксана получены амфифильные органозамещённые производные кремнезёма (ASiP). В основе их получения лежат реакции гидролиза и конденсации алкоксисилана с использованием катализатора диэтиленгликолята калия. Строение кремнийорганических соединений было установлено с применением спектральных методов анализа, динамического светорассеивания и измерений поверхностного натяжения. Размер частиц ASiP равен 20-70 нм, и видны агломераты округлой формы, которые расположены в виде гроздей. Установлено, что использование ASiP в качестве катализатора при полимеризации октаметилциклотетрасилоксана влияет на время полимеризации, приводя к его сокращению. Также ASiP находит применение в получении силиконовых герметиков с улучшенными физико-механическими свойствами. Такой результат связан со строением амфифильных органозамещённых производных кремнезёма, имеющую в своем составе как гидрофобную, так и гидрофильную составляющую. Полиоксиэтиленгликоль, входящий в состав ASiP, является аналогом краун-эфиров, который участвует в каталитических процессах полимеризации октаметилциклотетрасилоксана. Установлено, что увеличение приведенной вязкости модифицированных полидиметилсилоксанов (ПДМС) является следствием усиления когезионных взаимодействий между производными кремнезёма и ПДМС.

### **Источники**

1. Sheiko S., Sumerlin B.S., Matyjaszewski K // Progress in Polymer Science. 2008. Vol. 33. P. 759 -785.
2. Yakimansky A. V., Meleshko T. K., Ilgach D. M., Bauman M. A., Anan'eva T. D., Klapshina L. G., Lermontova S. A., Balalaeva I. V., Douglas W. E. // Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. 2013. Vol. 51. P. 4267-4281.

## ПОЛИУРЕТАНОВЫЕ ПАРПРОНИЦАЕМЫЕ МЕМБРАНЫ

З.М. Хисматуллин, О.О. Сазонов, И.Н. Закиров  
Науч. рук. канд. хим. наук, доцент И.И. Зарипов  
ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Россия  
zakirovilyas1996@gmail.com

В данном исследовании были получены полиуретановые плёночные материалы на основе аминоэфиров ортофосфорной кислоты (АЭФК) с использованием ароматических полиизоцианатов (ПИЦ). Выявлено, что полученные полимеры значительно увеличивают показатели паропроницаемости с увеличением температуры и резким ростом количественного содержания фосфат анионов в составе исходной уретанобразующей системы.

**Ключевые слова:** паропроницаемость, полиуретановые иономеры, мембраны.

## POLYURETHANE VAPOR-PERMEABLE MEMBRANES

Z.M. Hismatullin, O.O. Sazonov, I.N. Zakirov  
KNRTU, Kazan, Russia  
zakirovilyas1996@gmail.com

In this investigation, polyurethane film materials based on orthophosphoric acid monoesters (AЕРА) and aromatic polyisocyanates (PIC) were obtained. It is revealed that the produced polymers significantly increase the vapour permeability with an increase in temperature and a sharp increase in the quantity of anion phosphate in the composition of the initial urethane-forming system.

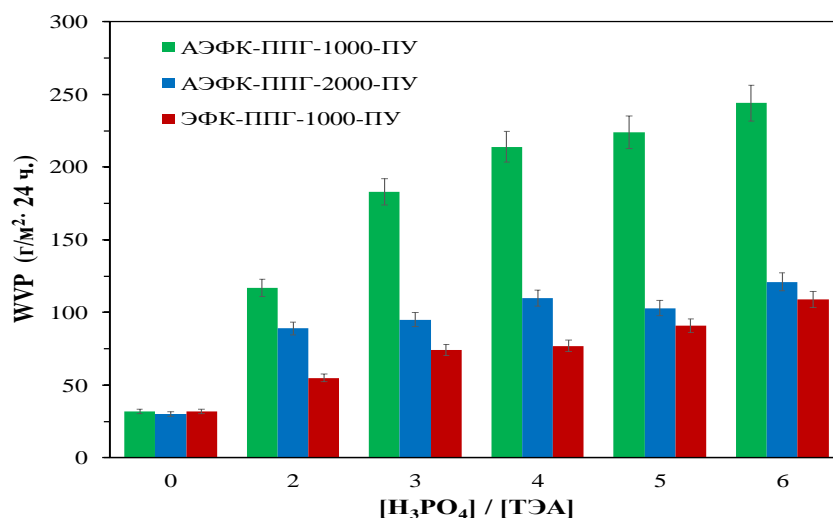
**Keywords:** vapor permeability, polyurethane ionomers, membranes.

В современном мире полимерные мембраны широко используется в таких областях применения как очистка морской воды на основе процесса обратного осмоса, в мембранной дистилляции, при изготовлении паропроницаемых материалов, а также в виде упаковочных материалов, защитного слоя в одежде различного назначения [1,2].

Мембраны на основе эфиров обладают огромным потенциалом для использования их в качестве диффузионных слоёв в различных материалах, однако разработка данных мембран с требуемым размером пор и функциональностью для высокой эффективности по-прежнему

остается проблемой. Исследовано влияние различных рабочих параметров на эффективность процесса с точки зрения производительности по водяному пару через тонкоплёночные слои. Надеемся, что этот исследовательский материал сможет стимулировать переосмысление принципов проектирования полиуретановых мембран и последующую разработку их усовершенствованных аналогов создания высокоэффективных паропроницаемых материалов [3].

Методом ASTM E 96-80B, был измерен коэффициент паропроницаемости плёночных образцов АЭФК-ППГ-1000-ПУ. Было установлено, что на коэффициент паропроницаемости образцов существенное влияние оказывает мольное содержание  $\text{H}_3\text{PO}_4$  при синтезе АЭФК-ППГ-1000. Из рисунка видно, что увеличение содержания ОФК в составе АЭФК-ППГ-1000 ведет к повышению содержания ионогенных групп в составе АЭФК-ППГ-1000-ПУ и соответственно к повышению коэффициента паропроницаемости. Наиболее высокое значение коэффициента паропроницаемости наблюдаются для АЭФК-6-ППГ-ПУ и составляет  $3091 \text{ г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$ .



Зависимости коэффициента паропроницаемости ( $\text{WVP}$ ,  $\text{г/м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$ ) для АЭФК-ППГ-1000-ПУ, от мольного избытка  $\text{H}_3\text{PO}_4$  относительно ТЭА при синтезе АЭФК-ППГ-1000

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 19-19-00136.

### Источники

1. Morel A., Water vapor permeability of thermosensitive polyurethane films obtained from isophorone diisocyanate and polyester or polyether polyol // J. Mater. Sci. 2017. Vol. 52. № 2. P. 1014–1027.



2. Gugliuzza A., A review on membrane engineering for innovation in wearable fabrics and protective textiles // J. Membr. Sci. 2013. Vol. 446. P. 350-375.

3. Shi S., Robust waterproof and self-adaptive breathable membrane with heat retention property for intelligent protective cloth // Prog. Org. Coat. 2019. Vol. 137. P. 105303- 105336.

УДК 66.022.3.

## **ЛЕГКОПЛАВКИЕ БОРОСИЛИКАТНЫЕ ГЛАЗУРИ НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМА ДЛЯ КЕРАМИКИ**

О.Ю. Шакирова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.А. Женжурист

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

olya\_shakirova\_02@mail.ru

В статье рассмотрены результаты подбора состава боросиликатной глазури на основе кремнезема для образцов на основе суглинка, огнеупорной, бентонитовой глины. Используются для синтеза стекло М 1, микрокремнезем МК 85, диатомит Инза, силикагель КСМГ. Отмечено различное качество глазурного покрытия, синтезированного из разных видов аморфного кремнезема. На качество глазурного покрытия влияет вид глинистого сырья подложки.

**Ключевые слова:** боросиликатная глазурь, молотое стекло, диатомит, микрокремнезем, силикагель, бура, глина.

## **FUSIBLE SILICA-BASED BOROSILICATE GLAZES FOR CERAMICS**

O.Yu. Shakirova

KSPEU, Kazan, Russia

olya\_shakirova\_02@mail.ru

In the article the results of the selection of silica-based borosilicate glaze for samples based on loam, refractory, bentonite clay are considered. Used for the synthesis were glass M 1, microsilica MK 85, diatomite Inza, silica gel KSMG. The different quality of the glaze coating synthesized from different types of amorphous silica. The quality of the glaze coating is influenced by the type of clay raw material of the substrate.

**Keywords:** borosilicate glaze, ground glass, diatomite, microsilica, silica gel, borax, clay.

Боросиликатные стекла являются модифицированными оксидом бора  $B_2O_3$  силикатными стеклами и отличаются высокими показателями термостойкости при высоких и низких температурах, хемостойкостью ко многим неорганическим и органическим реактивным жидкостям, твердостью, особыми оптическими свойствами, низким коэффициентом термического расширения [1-3].

Глазури по керамике на основе боросиликатных стекол имеют значение для изготовления деталей, работающих в термических агрегатах, химически агрессивных средах и при механических нагрузках. Боросиликатные стекла традиционно варят на основе кварцевого песка, при температуре более  $1300^\circ C$  [2-4]. При этих температурах начинаются фазовые преобразования и связанные с этим деформации глинистой керамики. Важно было исследовать возможность получения боросиликатной глазури при температурах розлива около  $1000^\circ C$ .

Для синтеза легкоплавких боросиликатных глазурей представляет интерес аморфный кремнезем, который благодаря высокой дисперсности частиц обладает высокой химической активностью. В качестве аморфного кремнезема были исследованы: диатомит месторождения Инза, микрокремнезем МК 85, силикагель КСМГ и молотое стекло марки М 1. В качестве модифицирующей добавки оксида бора – буру  $Na_2B_4O_7$  по ГОСТ 8429-77. В качестве подложки для покрытия глазурью использовали образцы из огнеупорной Нижне-Увельской глины, суглинка Калининского и бентонитовой Нурлат-Октябрьской глины, обожженных при  $1000^\circ C$ . Состав глазури подбирали по отсутствию трещин на поверхности глазурного покрытия. Результаты исследования приведены на рисунке.



Покрyтия глиняных образцов боросиликатными глазуриями на основе различных видов аморфного кремнезема.

Результаты подбора состава глазури показали, что для каждого состава керамического черепка необходим определенный состав глазури, совпадающий по коэффициенту термического расширения с обожженной глиной подложки. Вид аморфного кремнезема влияет на характеристики боросиликатной глазури. Лучшие покрытия без дефектов при одинаковом соотношении  $\text{SiO}_2 / \text{B}_2\text{O}_3$  были получены на образцах из бентонитовой глины. Состав глазури на силикагеле не имел пористого покрытия как на огнеупорной глине и суглинке.

Проведенные исследования показали, что при производстве глазури использование диатомита и стекла в составе покрытия выпадали кристаллы на основе металлов, прежде всего железа и др. примесей, а также серы, создавая декоративный эффект.

Результаты испытаний на данной стадии исследований показали возможность разработки состава глазурного боросиликатного покрытия по глиняному образцу любого состава. Для изучения физико-химических показателей боросиликатных глазурей и влияния на них исходного вида аморфного кремнезема необходимы дальнейшие исследования.

### Источники

1. Гулоян Ю. А. Технология стекла и стеклоизделий / Ю.А. Гулоян. Владимир: Транзит-Икс. 2015. 712 с.

2. Елкина А. В., Парамонова А.М., Власова С.Г. Синтез и исследование боросиликатных стекол для изготовления стеклянных микросфер // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф.. Екатеринбург: УрФУ, 2015. С. 296-298.

3. Скворцов М.В., Михайленко Н.Ю., Стефановский С.В. Боросиликатные стекла на основе природных материалов для иммобилизации радиоактивных отходов // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т.31. № 3. С. 108-110.

4. Назаренко А.А., Лапо Е.Г., Пименов В.А., Мансуров Ю.Н., Моисеенко Д.В. Разработка технологии нанесения покрытий на керамическую основу способом многослойного глазурования // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2017. Т. 30. № 1. С. 75-84.

УДК 54.01; 66.022.3

## **ВЛИЯНИЕ АМОРФНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА КАЧЕСТВО КЕРАМИКИ ПРИ СПЕКАНИИ ТЕРМОВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ГЛИН**

А.А. Щетинина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент И.А. Женжурист

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

arichaschet@gmail.com

В статье рассмотрены экспериментальные данные по использованию аморфного кремнезема (диатомита и микрокремнезема) для улучшения технологических характеристик бентонитовой глины и снижения температуры спекания глинистой композиции. Рекомендована величина добавки диатомита и микрокремнезема для получения максимальной прочности образцов без дефектов поверхности.

**Ключевые слова:** бентонитовая глина, диатомит, микрокремнезем, спекание, стеклофаза.

# INFLUENCE OF AMORPHOUS SILICA ON THE QUALITY OF CERAMICS DURING SINTERING OF THERMOSENSITIVE CLAYS

A.A. Shchetinina  
KSPEU, Kazan, Russia  
arichaschet@gmail.com

The experimental data on the use of amorphous silica (diatomite and microsilica) to improve the technological characteristics of bentonite clay and reduce the sintering temperature of the clay composition are considered in the article. The value of diatomite and microsilica addition is recommended to obtain the maximum strength of samples without surface defects.

**Keywords:** bentonite clay, diatomite, microsilica, sintering, glass phase.

К глинам, особенно чувствительным к нагреву, относятся бентонитовые, в состав которых входит большой процент минерала монтмориллонита. Эти глины отличаются высокой коллоидальностью и большой усадкой в процессе термической обработки. Благодаря особенностям структуры глины склонны к вспучиванию при одновременном спекании и используются при получении керамзитового гравия в температурном интервале около 1200 °С.

В работе были проведены испытания по определению возможности использования бентонитовых глин для получения высокопрочной остеклованной каменной керамики в температурном диапазоне до 1000 °С.

При нагреве образцов бентонитовой глины из-за большой усадки возможно растрескивание образцов. Для предотвращения этого явления в глину вводят отошитель. Кремнезем входит в состав всех глинистых минералов, а частицы аморфного кремнезема обладают повышенной химической активностью из-за высокой дисперсности. Было важно проверить влияние различных форм аморфного кремнезема на качество спеченных образцов из бентонитовой глины. Добавки аморфного кремнезема в глину будут выступать в качестве отошителя. Для этого был опробован аморфный кремнезем природного происхождения – диатомит месторождения Инза и отход металлургического производства – микрокремнезем МК-85. Введение высокодисперсного аморфного кремнезема в глинистую шихту снижает усадку и способствует образованию жидкой фазы и спеканию композиции при низких температурах [1, 2].

Образцы готовили по пластической технологии и обжигали в муфельной печи при температуре 980-1050 °С. Результаты испытания образцов показаны на рис. 1.

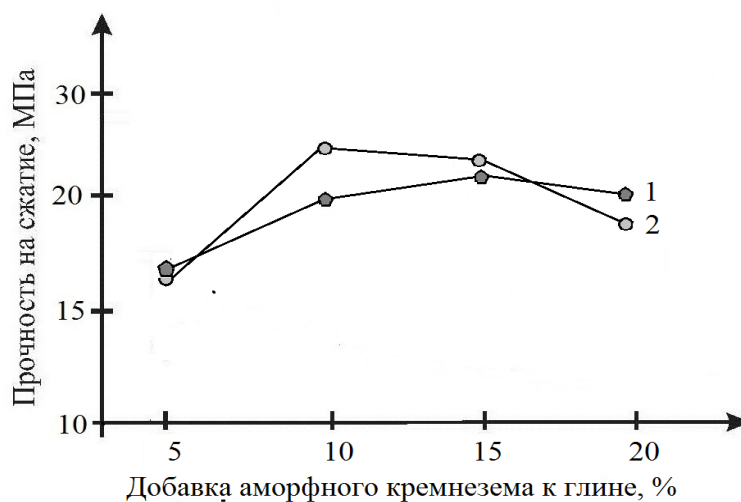


Рис. 1. Зависимость прочности образцов от добавки аморфного кремнезема:  
1 – диатомита, 2 – микрокремнезема.

Лучшие показатели были получены при добавке в глину 10% микрокремнезема и 15% диатомита. Внешний вид образцов показан на рис. 2.

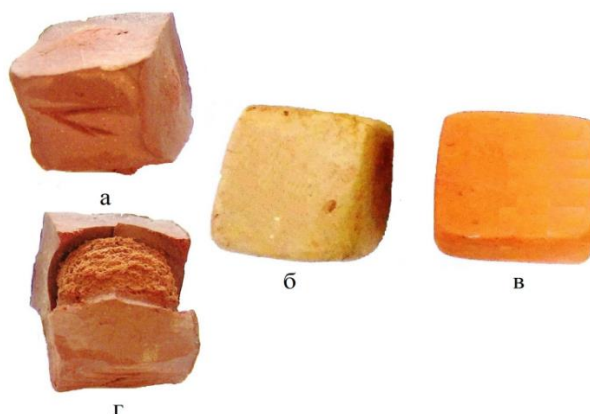


Рис. 2. Внешний вид образцов после спекания: а-глина 980 °С, г-глина 1050 °С, с добавками б – 10% микрокремнезема, в - 15% диатомита.

Результаты проведенных исследований показали, что использование аморфного кремнезема позволяет получить качественно спеченные образцы при пониженной температуре обжига. Образцы обладают повышенной прочностью. Ранее проведенные исследования обожженных образцов из глинистых композиций с добавками аморфного кремнезема

показали наличие большого количества стеклофазы и повышенной пористостью при высокой прочности [3, 4].

Исследования, проводимые по использованию аморфного кремнезема с бентонитовыми глинами, позволят разработать составы на их основе для получения изделий каменной и клинкерной керамики.

### **Источники**

1. Лохова Н.А., Макарова И.А., Патраманская С.В. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема Братск: БрГТУ. 2002. 163 с.

2. Селяев В.П., Неверов В.А., Маштаев О.Г., Колотушкин А.В. Свойства микрокремнезема из природного диатомита и его применение в производстве вакуумных теплоизоляционных панелей // Инженерно-строительный журнал. 2013. №7. С. 15 –25.

3. Zhenzhurist I. Prospects and features of microwave sintering in the technology of building ceramics // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 890. 012088.

4. Мустафин Н.Р., Ашмарин Г.Д. Клинкерная керамика на основе кремнеземистого сырья и техногенных отходов //Строительные материалы. 2006. №1. С. 32-34.

УДК 544.77

## **ОЦЕНКА СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛ-АЛЬГИНАТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ИХ СОСТАВА**

Я.С. Янушевская<sup>1</sup>, Т. Хаир<sup>1</sup>

Науч. рук. доктор хим. наук, профессор О.С. Зуева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Россия

<sup>1</sup>ynushevskaya@mail.ru, <sup>2</sup>taharch937@gmail.com

Изучен элементный состав металл-альгинатных гидрогелей. Показано, что элементный состав дает информацию о степени заполнения возможных мест связывания и наиболее вероятном строении зон соединения. Оценены возможности методов комбинаторики для анализа структурных особенностей металл-альгинатных гидрогелей.

**Ключевые слова:** полисахариды, альгинат натрия, элементный анализ, комбинаторика.

# ESTIMATION OF METAL-ALGINATE HYDROGEL SORPTION PROPERTIES BY ELEMENTAL ANALYSIS OF THEIR COMPOSITION

Ya.S. Yanushevskaya<sup>1</sup>, T. Khair<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>ynushevskaya@mail.ru, <sup>2</sup>taharch937@gmail.com

The elemental composition of metal-alginate hydrogels has been studied. It was shown that the elemental composition provides information on the degree of possible binding sites filling and the most probable design of junction zones. The possibilities of combinatorial methods for analysis of metal-alginate hydrogel structural features were evaluated.

**Keywords:** polysaccharides, sodium alginate, elemental analysis, combinatorics.

Природные полисахариды, имеющие в своем составе карбоксильные, гидроксильные и другие активные функциональные группы, реагирующие с тяжелыми металлами посредством ионного обмена, с успехом могут быть использованы для адсорбции тяжелых металлов [1]. Еще более эффективными сорбентами токсичных органических соединений и тяжелых металлов являются не растворы и гидрогели природных биополимеров, а приготовленные на их основе металл-полисахаридные микросферы [2,3]. Связывание биополимерных цепей различными двухвалентными ионами обуславливает комплексообразование, зависящее от внедряемых ионов и порождающее различия в составе и микроструктуре гелей [4]. В данной работе исследованы особенности ассоциации альгинатных цепей и оценка сорбционных способностей гидрогелей, сшитых двухвалентными щелочноземельными металлами ( $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ). Для этого изучен элементный состав стенок, приготовленных металл-альгинатных микросфер и его особенностей, связанных с применением конкретных сшивающих катионов. Использовались методы электронной микроскопии и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (аналитический метод элементного анализа вещества, основанный на анализе энергии излучаемого рентгеновского спектра). При исследовании вещества в электронных микроскопах атомы исследуемого образца возбуждаются с помощью пучка электронов, что приводит к появлению характерного для каждого химического элемента рентгеновского излучения. При исследовании энергетического спектра такого излучения можно сделать выводы о качественном и



количественном составе лиофильно высушенных микросфер альгинатов металлов.

Показано, что в металл-альгинатных гидрогелях среднее число катионов щелочноземельных металлов  $Me^{2+}$  в расчете на блок  $C_{12}$  при полном связывании теоретически должно быть равно 1. Однако оно оказалось меньшим этого числа, составляя от 0.3-0.35 для кальция до 0.65-0.7 для стронция. Этот факт указывает на электростатическое связывание щелочноземельных катионов с альгинатными цепями. Следствием относительно слабого электростатического взаимодействия является разная степень комплексообразования указанных катионов с альгинатными блоками различных типов, построенных из двух видов основных структурных единиц: остатков гулуруновой и маннуруновой кислот. Слабое комплексообразование проявляется в наличии определенного количества незанятых мест в структуре из связанных альгинатных димеров. Использование расчетных методов комбинаторики позволило рассчитать вероятности возникновения при гелеобразовании ячеек из альгинатных блоков различных типов, появляющихся при ассоциации альгинатных цепей с отношением маннуруновых и гулуруновых единиц, равных 1.5. Показано, что часть ячеек не может быть занята катионами щелочноземельных металлов. Тем не менее, именно наличием свободных ячеек в образовавшихся структурах могут быть объяснены возможности для поглощения из окружающей среды катионов тяжелых металлов. Как правило, эти катионы относятся к переходным металлам, которые могут внедряться в ячейки любой конфигурации. Более того, их встраивание дополнительно способствует упрочнению структуры гидрогелей [1]. Сделан вывод о том, что на основе альгината кальция могут быть получены наиболее эффективные с точки зрения сорбционных способностей материалы для их применения в природоохранных технологиях [5]. Создание инновационных наноконпозиционных материалов с улучшенными механическими свойствами и эффективной адсорбционной способностью на основе металл-альгинатных гидрогелей имеет большие перспективы для различных экологических целей.

### **Источники**

1. Kong C., Zhao X., Li Y., Yang S., Chen Y.M., Yang Z. Ion-Induced Synthesis of Alginate Fibroid Hydrogel for Heavy Metal Ions Removal // *Frontiers in Chemistry*. 2020. V. 7. P. 905.
2. Макарова А.О., Зуева О.С. Богданова Л.Р. и др. Биотехнологические приемы использования полисахаридных гидрогелей

для доставки витаминов и диагностических маркеров // Бутлеровские сообщения. 2021. Т. 10. С. 147–155.

3. A.O. Makarova, L.R. Bogdanova, O.S. Zueva. Use of Natural Biopolymers to Create Nanocomposite Materials // Solid State Phenomena. 2020. V. 299. P. 299-304.

4. Agulhon P., Markova V., Robitzer M., Quignard F., Mineva T. Structure of Alginate Gels: Interaction of Diuronate Units with Divalent Cations from Density Functional Calculations // Biomacromolecules. 2012. V. 13(6). P. 1899–1907.

5. A.O. Makarova, S.R. Derkach, T. Khair, M.A. Kazantseva, Y.F. Zuev, O.S. Zueva. Ion-induced polysaccharide gelation: Peculiarities of alginate egg-box association with different divalent cations // Polymers. 2023. V.15 (accepted)

УДК 628.16.081.3

## **ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ПРИРОДНЫМИ СОРБЕНТАМИ**

Н.И. Марданов<sup>1</sup>, Т.Р. Яппаров<sup>2</sup>

Науч.рук. канд. техн. наук доцент А.Е. Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>yapparowa.tim@gmail.com, <sup>2</sup>nailyestea@mail.ru

Данное исследование посвящено использованию природных сорбентов для очистки воды, таких как активированный уголь и силикагель. Цель работы – изучить эффективность различных технологий, связанных с природными сорбентами, и обсудить идею и по повышению их эффективности.

**Ключевые слова:** очистка воды, природные сорбенты, очистка, технологии очистки воды.

## **TECHNOLOGIES OF WATER PURIFICATION BE NATURAL SORBENTS**

N.I. Mardanov<sup>1</sup>, T.R. Yapparov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>yapparowa.tim@gmail.com, <sup>2</sup>nailyestea@mail.ru

This research is devoted to the use of natural sorbents for water treatment such as activated carbon and silica gel. The aim of the work is to study the efficiency of various technologies related to natural sorbents and discuss ideas to improve their effectiveness.

**Keywords:** water purification, natural sorbents, purification, water purification technologies.

Тяжелые металлические ионы – это примеси, которые поступают в воду из сточных вод промышленных предприятий, таких как гальванические, металлургические и машиностроительные. Для удаления таких примесей наиболее эффективным методом является адсорбция, особенно если загрязнение незначительное. В качестве сорбентов могут использоваться активированные угли, силикагели, алюмогели, гидроксиды металлов, а также природные минералы, например бентонит и его модифицированные формы. Бентонит, благодаря своей высокой адсорбционной способности, дешевый, доступный и возобновляемый адсорбент, который широко используется для подготовки воды [1].

Для очистки воды от ионов тяжелых металлов в исследованиях [2] использовался природный сорбент. Он был приготовлен путем смешения бентопорошка, сахарозы и дистиллированной воды в соотношении 1:4. Для катализатора были добавлены соли никеля (II), кобальта (II) и железа (III). Полученная масса была высушена при температуре 80 °С сутки и отжигалась в атмосфере аргона при 650 °С. Затем смесь промывалась от солей добавленных металлов. Благодаря этому способу удалось повысить удельную поверхность до 275 м<sup>2</sup>/г с размерами пор 1,5–4,0 нм (63-66 %). В нейтральных растворах предельная адсорбция ионов никеля (II) и свинца (II) составила 30-86 мг/г.

Было проведено множество исследований по использованию слоистых алюмосиликатов в процессе очистки сточных вод. Для создания структуры использовался пилларирующий раствор, полученный путем гидролиза смеси растворов нитратов алюминия и меди в присутствии гидролизующего агента. Исходная концентрация ионов металлов в этом растворе составляла 0,2 М при молярном соотношении Al<sup>3+</sup>:Cu<sup>2+</sup> – 9:1. Концентрация растворов гидролизующих агентов составляла 0,2 и 0,4 М. Одна из работ показала, что пилларирование бентонита полигидроксокаатионами железа (III), алюминия и циркония (IV) с помощью метода «соосаждения» увеличивает адсорбционную способность полученных сорбентов к бихромат-, арсенат- и селенит-анионам до 28 мг/г, а также катионам меди (II) и никеля (II) до 22 мг/г. Удельная поверхность

сорбента из бентонита составила 60-180 м<sup>2</sup>/г, где преобладали поры размером 1,5-4,0 нм (60-70 %).

Для повышения эффективности очистки воды возможно совмещение процессов гетерогенной кристаллизации и адсорбции с применением добавки бентонита, активированного ультразвуковой обработкой. Использование данной технологии позволяет изменить исходную концентрацию ионов никеля в растворе с 1 г/л до 0,5 мг/л [4].

Для очистки сточных вод гальванического производства от тяжелых металлов (сульфата меди, цинка, хрома и никеля) до приемлемых норм рыболовства, модифицированный бентонит из Нурластского месторождения РТ [5-7] был протестирован в этом исследовании, поскольку традиционные методы не были результативны. Эффективность использования модифицированного бентонита составила 99,3 %. В эксперименте сначала была подкислена сточная вода и осаждены ионы металлов, затем ее направляли в реактор, где дозировали адсорбент из модифицированного бентонита (5 кг/м<sup>3</sup>), а затем катионный флокулянт на основе сополимера акриламида (10 г/м<sup>3</sup>). После перемешивания и отстаивания смесь была разделена на осадок, содержащий адсорбированные ионы металлов, и жидкость, которая была направлена на переработку в адсорбент или керамзит. Гранулированный сорбент был получен экструзией с последующим обжигом при 600 °С, поскольку при более низких температурах он не обладает необходимой прочностью, а при больших температурах происходит снижение удельной поверхности.

### Источники

1. Соколов В.Н. Глинистые породы и их свойства // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 9. С. 59–65.
2. Гончарук В.В., Соболева Н.Н., Носонович А.Н. Физико-химические аспекты проблемы загрязнения почв и гидросферы тяжёлыми металлами // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. №11. С. 795–809.
3. Никитина Н.В. Физико-химические свойства сорбентов на основе природного бентонита, модифицированного полигидроксокатионами металлов: дис. канд. хим. наук: 02.00.04. Саратов, 2018. 23 с.
4. Чипрякова А.П., Нигматуллина А.А., Мясников С.К. Применение бентонита при очистке воды в совмещенном кристаллизационно-адсорбционном процессе с ультразвуковой интенсификацией // Успехи в химии и химической технологии: Сб.науч. тр. М., 2011. т. XXV. № 1. С. 102-107

5. Buntin A.E. Influence of Nano-Modification on Structural, Mechanical and Physico-Chemical Characteristics of Bentonite // Solid State Phenomena. 2021. 316 C. 34-39.

6. Buntin A.E. Ceramics Based on Nano-Modified Alumino-Silicates // Solid State Phenomena. 2021. 316 C. 87-93.

7. Buntin A., Agliullin V. Transformation of the structure and adsorption properties of bentonite during physical and chemical treatment // Journal of Physics: Conference Series. 2022. 2373(3). 032006.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

#### СЕКЦИЯ 1. ЯДЕРНАЯ, ТЕПЛОВАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА

<b>Акберова Г.И.</b> Оценка эффективности децентрализации системы теплоснабжения учебного корпуса. . . . .	3
<b>Аракчеев Д.В.</b> Применение обратного осмоса для подготовки питьевой воды. . . . .	6
<b>Аскарров И.З.</b> Исследование способов повышения мощности теплофикационных турбин. . . . .	9
<b>Асянова Д.Ф.</b> Исследование изменения энергетической эффективности теплофикационных турбин при повышении начального давления. . . . .	12
<b>Ахметова Р.Р.</b> Монтаж парогазовой установки 850 МВт. . . . .	15
<b>Базин Д.А.</b> Варианты использования тепловой энергии топливного элемента. . . . .	18
<b>Беляева Г.И., Зиганшин М.Г.</b> Numerical studies of the aerodynamics of dispersed flows in multicyclones. . . . .	22
<b>Биктимиров Р.Р.</b> Водородные топливные элементы. . . . .	24
<b>Валиуллина Е.С.</b> Критический анализ способов термообработки твёрдых отходов. . . . .	27
<b>Волкова В.А.</b> Возможность применения цифровых технологий в системе водоподготовки на ТЭС. . . . .	30
<b>Вьюгова К.Д.</b> Численное моделирование гидродинамики фонтанирующего слоя. . . . .	33
<b>Гаврилин В.В., Бабилов О.Е.</b> Современные технологии производства ионообменных смол. . . . .	37
<b>Гайнутдинов Ф.Р.</b> Твердооксидные топливные элементы в гибридных системах энергоснабжения. . . . .	39
<b>Галлямова И.Р.</b> Применение фильтрующих материалов для снижения содержания органических веществ на установке подготовки питьевой воды в паводковый период. . . . .	42
<b>Гарифуллина А.М.</b> Модернизация проточной части цилиндра высокого давления турбин Т-100. . . . .	46
<b>Гильмутдинова Р.И.</b> Удаление кремниевых отложений в водно-химическом режиме ТЭС. . . . .	49

<b>Горбунов С.В., Даминов Р.Р.</b> Численные исследования аэродинамики потока в циклоне ЦН-11. ....	53
<b>Гордеев М.Д.</b> Современное состояние ГеоТЭС в мире. ....	56
<b>Губайдулин Д.Ш., Шарипов А.Р.</b> Применение сети LORAWAN для автоматизации систем оперативного дистанционного контроля состояния тепловой изоляции пенополиуретановых трубопроводов. ....	60
<b>Ефремов С.С.</b> Горелочное устройство на огневом стенде кафедры АТЭС. ....	63
<b>Закиров А.Р.</b> Разработка систем энергоснабжения и автоматизации процессов МКД по технологии «Умный дом» ....	65
<b>Залаев А.Э.</b> Перспективы эксплуатации жидкосолевых реакторов. ....	69
<b>Зарипова Г.В.</b> Выбор оптимальной схемы технического водоснабжения для АЭС с реактором типа ВВЭР. ....	71
<b>Зотова, К.В. Ухалова Е.Г.</b> Исследование этаноламинного водного режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000. ....	75
<b>Иксанов Ф.Ф.</b> Малые модульные реакторы. ....	78
<b>Иркешев Н.С.</b> Методы водоподготовки на ТЭС. ....	81
<b>Камалиева Р.Ф., Власова А.Ю.</b> Адсорбирующие материалы для улавливания углекислого газа из дымовых газов ТЭЦ. ....	83
<b>Камалиева Р.Ф., Власова А.Ю.</b> Экспериментальные исследования по улавливанию углекислого газа с использованием абсорбирующих материалов. ....	86
<b>Кириллина В.И.</b> Водородные энергетические циклы атомных электростанций. ....	88
<b>Кириллов Д.С., Багаутдинов А.Ч.</b> Системы безопасности современных АЭС. ....	91
<b>Князев Б.Д.</b> Мокрые технологии переработки отработанного ядерного топлива. ....	94
<b>Красивов Я.Ю.</b> Состояние ТЭК Китайской Народной Республики. ....	97
<b>Крылов М.Э.</b> Развитие парогенераторов двухконтурных АЭС. ....	100
<b>Кутилина К.А.</b> Очистка воды с использованием различных методов фильтрации. ....	102
<b>Лавриков В.А.</b> Современные ядерные технологии расплавленных солей: преимущества, недостатки и перспективы. ...	106
<b>Лавриков В.А.</b> Малые модульные реакторы: преимущества перед традиционными и перспективы применения. ....	109

<b>Лопатенкова Ю.Ф.</b> Очистка конденсатора методом термической сушки. . . . .	112
<b>Майоров Е.С.</b> Структура системы паровой риформинг-топливный элемент и её вариации. . . . .	114
<b>Макуева Д.А., Разакова Р.И.</b> Состояние и перспективы внедрения водородных заправочных станций. . . . .	118
<b>Меньщиков Н.В.</b> Характеристики и параметры теплообменных процессов в системах маслоснабжения парогазовой установки. . . . .	121
<b>Миниханова А.Р.</b> Потребность водорода в качестве топлива на транспорте. . . . .	124
<b>Низамаева А.В.</b> Анализ бактериологической загрязненности в системе подготовки воды с фильтром смешанного действия. . . . .	127
<b>Низамаева А.В.</b> Исследование химической обработки основного конденсата в фильтрах смешанного действия. . . . .	129
<b>Печенкин А.В., Филимонов А.А.</b> Численное моделирование методом конечных элементов рабочих параметров ТОТЭ на различном топливе. . . . .	132
<b>Посадскова О.В.</b> Об эффективном распределении тепловых нагрузок на установки горячего водоснабжения для систем централизованного теплоснабжения. . . . .	136
<b>Сабитов Ш.К.</b> Некоторые материалы в конструкции электролизера и их особенности. . . . .	139
<b>Сараева Д.А.</b> Эффективность применения промежуточного перегрева пара и его влияние на экономичность паротурбинной установки. . . . .	141
<b>Сараева Д.А.</b> Технологические изменения в системе подготовки воды на ТЭС в паводковый период. . . . .	144
<b>Сафонов В.А.</b> Загрязнение ультрафильтрационных мембран и способы их регенерации. . . . .	146
<b>Селиванов В.Л.</b> Снижение влияния высоких температур наружного воздуха на компрессор ГТУ. . . . .	148
<b>Сергеев Н.В.</b> Повышение эффективности работы конденсационного экономайзера. . . . .	151
<b>Смирнова Д.И.</b> Принцип работы ветрогенераторов. Типы установок. . . . .	154
<b>Сорокин К.С.</b> Анализ методов водоподготовки для энергетического оборудования. . . . .	157
<b>Тагиров Э.Р.</b> Повышение эффективности работы газотурбинной установки. . . . .	159



<b>Титенков В.В.</b> Ядерные ракетные двигатели: преимущества, недостатки и перспективы. . . . .	162
<b>Титенков В.В.</b> Использование микромодульных реакторов в дальних регионах страны. . . . .	165
<b>Титенков В.В., Лавриков В.А.</b> Термоядерные реакторы как источник чистой и безопасной энергии. . . . .	168
<b>Титов С.Е.</b> Применение нанокompозитных материалов для повышения КПД солнечных панелей. . . . .	170
<b>Усманов Р.Р.</b> Энергоснабжение жилых зданий с помощью топливных элементов. . . . .	173
<b>Фадеева К.А.</b> Теплоснабжение города Кисловодск (обзор) . . .	176
<b>Фатхуллина Д.К., Титенков В.В.</b> Применение ядерных технологий в медицине. . . . .	178
<b>Фатхуллина Д.К., Лавриков В.А., Титенков В.В.</b> Роль ядерной энергетики в стратегической энергетической независимости стран. . . . .	181
<b>Филимонов А.А., Печенкин А.В.</b> Сравнительный анализ высокотемпературного газоохлаждаемого реактора с электролизным получением водорода на атомных станциях. . . . .	184
<b>Хабибуллина Э.Т.</b> Автоматизация учета электрической энергии в многоквартирных домах. . . . .	187
<b>Хайдаров И.Р.</b> Особенности парогазовых установок с вводом пара. . . . .	189
<b>Хайретдинова К.Т.</b> Исследование способов повышения мощности турбоустановки Тп-115-125-130-2ТП. . . . .	192
<b>Хайрутдинов А.М.</b> Электролизеры получения водорода. материалы и конструкции. . . . .	195
<b>Хаматов Л.Р.</b> Исследование эффективности систем теплоснабжения. . . . .	200
<b>Хисамиев Б.Р.</b> Конструктивные решения конденсационных котлов производительностью до 1 МВт. . . . .	203
<b>Цыкунов Д.С.</b> Технологии переработки отработавшего ядерного топлива. . . . .	206
<b>Черкасов А.С.</b> Применение газопоршневого агрегата для сокращения потребления собственных нужд тепловых электрических станций. . . . .	209
<b>Черкасов А.С., Ляпин А.И.</b> Перспективные направления применения газовых турбин малой мощности. . . . .	212
<b>Чикунов Г.В.</b> Водородные АЗС. . . . .	215

<b>Шайхутдинов Я.О., Минибаев А.И.</b> Повышение безопасности АЭС в случае аварии за счет энергии отработавших тепловыделяющих сборок. ....	218
<b>Шакиров М.А.</b> Проблемы эксплуатации ветроэнергетических установок. ....	220
<b>Шамбина Д.А.</b> Электро- и теплоснабжение города Ачинск (обзор).....	223
<b>Шарипов А.Р., Губайдулин Д.Ш.</b> Применение теплообменных аппаратов смешивающего типа в схемах паротурбинных установок. ....	227

## СЕКЦИЯ 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

<b>Ахманов А.Р.</b> Макрозообентос Заинского водохранилища.....	230
<b>Сабирова А.Б.</b> Выбор субстрата для выращивания листового салата в аквапонике.....	233
<b>Валиуллина А.Т.</b> Минерализация оборотных вод в циркуляционных установках.....	236
<b>Васильева Е.А., Медведева А.С.</b> Исследование физико-химических показателей питьевой воды из разных источников.....	239
<b>Васильева Е.А.</b> Видовой состав зоопланктона Заинского водохранилища по материалам 2022 года.....	242
<b>Васильева Е.А.</b> Количественные характеристики зоопланктона Заинского водохранилища.....	245
<b>Веселова Е.Г.</b> Моллюски <i>Dreissena</i> в составе макрозообентоса Заинского водохранилища.....	248
<b>Чернова А.Е.</b> Микробиологические показатели санитарного состояния водного сообщества в замкнутых системах водообеспечения.....	251
<b>Щеглова А.С.</b> Особенности садков различных категорий.....	254
<b>Громов А.А.</b> Необходимость внедрения экологических стандартов в сфере жилищно-коммунального хозяйства Архангельской области.....	257
<b>Ибрагимова Г.Д.</b> Размерно-весовые характеристики нильской тиляпии ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) в условиях выращивания в малых УЗВ.....	259
<b>Калайда А.А., Душин А.В.</b> Специфика автоматизации кормления африканского клариевого сома в аквакультуре фермерских УЗВ.....	262



<b>Каримова Д.И., Лашкина Э.А.</b> Численное исследование классификатора-сепаратора . . . . .	308
<b>Кулай И.Г., Шагиева Г.Г.</b> Исследование сепарационного устройства с двутавровыми элементами. . . . .	311
<b>Лавриков В.А., Титенков В.В.</b> Современные технологии 3D моделирования: проблемы, решения и перспективы. . . . .	313
<b>Мугинов А.М.</b> Сравнительный анализ эффективности мультивихревых классификаторов с разным количеством наклонных круговых пластин. . . . .	316
<b>Мугинов А.М.</b> Анализ эффективности внедрения двух наклонных круговых пластин в мультивихревую классификатор. . . . .	319
<b>Насырова И.И., Зинуров В.Э.</b> Удаление мелких частиц из газа сепарационным устройством с соосно расположенными трубами. . . . .	322
<b>Орехов В.А.</b> Моделирование экспериментальной установки по измерению коэффициентов тепло-и массоотдачи при сушке пастообразного фосфогипса горячим агломерационным возвратом. . . . .	325
<b>Салахова Э.И., Козеев Е.А., Зинуров В.Э.</b> Эрозионный износ сепарационного устройства с дугообразными элементами. . . . .	329
<b>Тахавиев Т.М.</b> Удаление мелкодисперсных частиц из газов в окрасочно-сушильных камерах. . . . .	332
<b>Хайрутдинова А.И., Шарипов Ш.М.</b> Численное моделирование камеры сгорания при сжигании газовой смеси. . . . .	335

#### **СЕКЦИЯ 4. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

<b>Абдуллин Т.Р.</b> Использование аэрогелевых композитов как теплоизоляция на объектах промышленной энергетики. . . . .	338
<b>Аверьянова А.А., Нуруллин Н.Ж.</b> Повышение эффективности процесса рекуперации методом интенсификации теплообмена. . . . .	341
<b>Акимов В.С., Войткова К.А.</b> Вероятность «пиннинга» капли воды после ее падения на поверхность нержавеющей стали. . . . .	344
<b>Анпилогов Л.Д.</b> Отраслевые прогнозы развития ТЭК. . . . .	346

<b>Галимова А.Р., Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О.</b> Анализ влияния внешних факторов на значения параметров собственных колебаний трубопровода. ....	349
<b>Галимова А.Р., Кондратьев А.Е.</b> Математическое моделирование влияния различных дефектов на параметры собственных колебаний трубопровода в условиях эксплуатации.....	352
<b>Гапоненко С.О.</b> Программно-аппаратный комплекс на основе метода энтропийной параметризации для контроля технического состояния трубопроводов. ....	355
<b>Гараева В.Р.</b> Применение солнечных коллекторов в России. . .	359
<b>Гаязова З.И., Клюкин И.И.</b> Обнаружение течи посредством сравнения спектров акустических сигналов трубопровода . . . . .	361
<b>Гиззатуллин А.Р.</b> Расход жидкости в арматуре с утечкой. . . . .	364
<b>Гиззатуллин А.Р.</b> Численное моделирование течения в арматуре с утечкой. . . . .	368
<b>Громов А.А.</b> Перспектива использования древесных топливных гранул (пеллет) на территории Архангельской области . .	371
<b>Даутов Р.Р.</b> Классификация тепловых насосов, используемых в теплоснабжении жилых зданий . . . . .	374
<b>Дроздов Н.Н.</b> Органический цикл Ренкина как способ преобразования низкопотенциальной тепловой энергии в электрическую. . . . .	377
<b>Зарипов Р.Р.</b> Использование топливного элемента в качестве источника энергоснабжения . . . . .	380
<b>Захаров А.С., Ваньков Ю.В.</b> ПИНЧ-анализ теплообменных сетей. . . . .	382
<b>Захаров А.С.</b> ПИНЧ-анализ и его принципы, преимущества и ограничения. . . . .	385
<b>Зубарев Н.А., Гапоненко С.О.</b> Апробация метода энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов с применением энтропии Шеннона . . . . .	387
<b>Иванов А.О.</b> Оптимизация режимов работы системы теплоснабжения здания, находящегося на территории Крайнего Севера РФ . . . . .	391
<b>Кабатьева А.Ю.</b> Свалочный газ как источник тепловой энергии. . . . .	394
<b>Клюкин И.И.</b> Контроль утечек трубопроводов по анализу фрактальной размерности виброакустических сигналов. . . . .	397

<b>Клюкин И.И.</b> Влияние порядка аппроксимирующего полинома на результаты флуктуационного анализа акустических сигналов утечек трубопровода. . . . .	400
<b>Коньжов К.В.</b> Особенности применения возобновляемой энергетики на организацию энергоснабжения городов. . . . .	403
<b>Коньжов К.В.</b> Применение нейронных технологий при выборе технического решения для повышения эффективности. . . . .	406
<b>Коньжов К.В.</b> Экологически чистые теплоизоляционные материалы. . . . .	407
<b>Куницкий В.А., Лукин С.В.</b> Особенности модернизации сетей горячего водоснабжения на основе утилизации теплоты сточной воды, образующейся в душе. . . . .	410
<b>Кутраков П.А.</b> Реконструкция турбины К-300-240 Костромской ГРЭС. . . . .	413
<b>Макарова А.Р.</b> Перспектива применения материалов на основе аэрогеля для технической теплоизоляции. . . . .	417
<b>Мустафина Г.Р.</b> Технология производства биологически чистого газа. . . . .	419
<b>Мустафина Г.Р.</b> Технология производства и применения биогаза в России. . . . .	422
<b>Мустафина Г.Р.</b> Перспективы производства и применения биогазовой энергетики. . . . .	424
<b>Перфилов Р.О.</b> Применение технологии криобластинга для очистки турбин. . . . .	427
<b>Пономарев Р.А., Ваньков Ю.В.</b> Подключение нескольких термопар К-типа к Arduino Uno . . . . .	430
<b>Пономарев Р.А.</b> Создание теплоизоляционного материала на основе керамических микросфер. . . . .	433
<b>Пономарев Р.А., Базукова Э.Р.</b> Измерение характеристик теплоизоляции из базальтового волокна при разной степени выгорания связующего вещества . . . . .	436
<b>Ротач Р.Р.</b> Методика расчета показателей совместной работы котельной и винтового детандера. . . . .	439
<b>Савельев П.А.</b> Газотурбинные установки малой мощности и перспективы их внедрения. . . . .	442
<b>Тимершин А.Р.</b> Проблемы получения аэрогеля с использованием сверхкритического флюида диоксида углерода. . . . .	444
<b>Тимершин А.Р.</b> Проблемы получения аэрогеля с использованием сушки при атмосферном давлении. . . . .	447

<b>Ульябаева Г.Ш., Гапоненко С.О.</b> Контроль коррозионного состояния трубопровода с использованием волн Лэмба. . . . .	449
<b>Усанова Е.А.</b> Методы обработки сигнала акустического течеискателя. . . . .	452
<b>Федосеева Е.В.</b> Перспективы использования биотоплива. . . . .	455
<b>Федотова А.О., Пономарев Р.А.</b> Гелиосистема теплоснабжения здания с теплоаккумулятором на основе фазового перехода. . . . .	458
<b>Федюхин А.В., Ушкарев М.В., Дронов С.А., Семин Д.В., Гусенко А.Г.</b> Моделирование работы горелки РГМГ-10 на метано-водородной смеси в программном комплексе Ansys. . . . .	461
<b>Хакимов Д.Р.</b> Вещества с фазовыми переходами для аккумулирования тепловой энергии. . . . .	464
<b>Чанчина В.Е., Гапоненко С.О.</b> Метод вынужденных колебаний при анализе возможного влияния грунтов различного типа на собственные колебания трубопровода. . . . .	467
<b>Чемоданов И.С.</b> Теплообменные аппараты для утилизации вторичных энергоресурсов. . . . .	470
<b>Черный А.А., Сабиров И.М., Янайкин Н.М.</b> Подогрев воздуха горения на печах за счет рекуперации тепла дымовых газов	473
<b>Чупраков М.В., Сухоруков Ю.Г., Эрнандес А.Д., Шарапова Н.Е., Жукова В.С., Пыльская Е.К., Егоров М.П.</b> Модернизация термических деаэраторов в схемах энергоустановок производства карбамида и аммиака. . . . .	477

## **СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

<b>Абдрахманов Д.Р., Сафаров И.М.</b> Система маслоснабжения ветроэнергетической установки в климатических условиях Крыма. . . . .	480
<b>Абзалов Д.Б.</b> Модернизация системы дымоудаления административного здания. . . . .	483
<b>Андреева А.Р.</b> Автоматизация хранения мазута с применением машинного обучения. . . . .	486
<b>Антонов Т.А.</b> Проектирование средств пожарной сигнализации. . . . .	488
<b>Баймурзин А.Х.</b> Применение искусственного интеллекта и нейронных сетей в автоматизации технологических процессов . . . . .	491

<b>Богданов А.В.</b> Анализ способов распознавания местоположения робота с выбором оптимального варианта для использования на подстанциях . . . . .	494
<b>Богданов А.В.</b> Применение роботов для автоматизации электрических подстанций. . . . .	497
<b>Богданов А.В.</b> Автоматизированный модуль сбора урожая для автономных теплиц. . . . .	499
<b>Горбов В.Ю.</b> Методы рекуперации воздуха в системах бытового воздухообмена. . . . .	503
<b>Зеленов Д.А., Сафаров И.М.</b> Система энергоэффективного отопления поликлиники . . . . .	506
<b>Казиханов А.Р.</b> Преимущества использования VAV-системы вентиляции. . . . .	509
<b>Крылов Г.А., Гаврилова С.В., Старостина Я.К.</b> Анализ методов коррекции расхода воздуха по концентрации продуктов сгорания в уходящих газах котла . . . . .	512
<b>Муратова А.М.</b> Вопросы организации передачи данных в АСУТП и взаимодействие устройств в ней по OPC серверу. . . . .	515
<b>Мыльников В.И.</b> Использование технологии LoRaWAN в системах диспетчеризации. . . . .	518
<b>Пышняк С.Е.</b> Применение и устройство газорегуляторных пунктов. . . . .	521
<b>Русин Д.М.</b> Уменьшение чрезвычайных происшествий на железнодорожных эстакадах слива-налива нефти. . . . .	524
<b>Сагитов Э.Р.</b> Обзор промышленного протокола PROFIBUS. . . . .	526
<b>Садыков Р.Д.</b> Управление шаговым двигателем с помощью одноплатного микрокомпьютера Raspberry PI и драйвера двигателя L298N. . . . .	529
<b>Скворцов Д.Д., Сафаров И.М.</b> Интеллектуальное управление насосными станциями посредством частотного регулирования. . . . .	532
<b>Фахрутдинова А.Ш.</b> Анализ практики использования автоматизированных систем управления технологическими процессами на тепловых электростанциях. . . . .	535
<b>Хабиров Т.А.</b> Сравнительный обзор методов перемещения роботов. . . . .	538
<b>Хабиров Т.А.</b> Индикация уровня заряда для мобильных роботов. . . . .	542
<b>Хакимова А.З.</b> Устройство для отопления автодомов и мобильных зданий. . . . .	544
<b>Чучалов А.А.</b> Анализ оборудования среднего уровня АСУ для обеспечения эффективной работы систем отопления и вентиляции производственных зданий. . . . .	547



<b>Шайхезадин Д.И, Шаронов Н.С.</b> Разработка программного обеспечения для управления наземными беспилотниками. . . . .	550
--	-----

## **СЕКЦИЯ 6. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ, СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

<b>Ахметгалиев И.Ф.</b> Современные методы расчета стыков железобетонных стеновых панелей. . . . .	553
<b>Ву Нгок Зан</b> Определение органических растворителей методом газо-жидкостной хроматографии . . . . .	556
<b>Закиров Ф.Н.</b> Исследование факторов, влияющих на эффективность способов звукоизоляции теплового оборудования . . . . .	559
<b>Иванов Д.В.</b> Использование биогаза в теплоснабжении . . . . .	563
<b>Кариева Л.И.</b> Выбор наиболее эффективного адсорбента для осушки воздуха . . . . .	566
<b>Маслов К.М.</b> Способы разделения эмульсий. . . . .	569
<b>Павлов А.В., Танеева А.В.</b> Проблема аналитического контроля состава трансформаторного масла. . . . .	571
<b>Смышляева Д.И.</b> Радиационная система охлаждения . . . . .	574
<b>Хадиуллина Р.Р.</b> К оценке долговечности железобетонных напорных трубопроводов . . . . .	577
<b>Хайдарова Л.Ф.</b> Методы расчёта пропускания естественного света оконными блоками в зданиях. . . . .	579

## **СЕКЦИЯ 7. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**

<b>Абдуллин А.А.</b> Расчёт электрических нагрузок для детских садов и школ на основе фактических данных в Республике Татарстан. . . . .	582
<b>Абрамов Р.А.</b> Исследование влияния водорода на экономичность газовой турбины. . . . .	585
<b>Аглямов М.Р.</b> Внедрение водорода в энергетическую отрасль Республики Татарстан. . . . .	588
<b>Акулова К.А.</b> Влияние оптового рынка электроэнергии на генерирующие оборудование. . . . .	591
<b>Астафьев В.С., Захаров Д.В.</b> КПД теплоэнергетических систем при увеличении доли использования твердого топлива. . . . .	593
<b>Асыллов А.Р., Лазарев А.Е.</b> Выбор энергоустановки для энергоснабжения изолированного района. . . . .	596
<b>Ахметзянов Л.Р.</b> Системы очистки воздуха, подаваемого в газотурбинные установки. . . . .	599

<b>Ахметзянов Т.С.</b> Использование газотурбинных установок малой мощности для энергоснабжения в сельских районах. . . . .	602
<b>Ахметова А.Л.</b> Подготовка угля и его использование на отечественных ТЭС. . . . .	605
<b>Бакинский А.А.</b> Применение водорода в качестве топлива для газовой турбины. . . . .	608
<b>Ботова А.С.</b> Использование водорода в современных ТЭС. . . . .	612
<b>Будрина Е.А.</b> Применение альтернативных видов газов для выработки электроэнергии. . . . .	615
<b>Газизова Р.А.</b> Технология для контроля выбросов и загрязнения на электростанциях. . . . .	618
<b>Галиуллин Р.Д.</b> Комбинированная система генерации энергии. . . . .	621
<b>Галяутдинов Р.М.</b> Использование водородных парогенераторов в различных схемах получения электроэнергии. . . . .	623
<b>Гареев Б.Р.</b> Использование газотурбинных установок малых мощностей для энергоснабжения предприятий агропромышленного комплекса. . . . .	627
<b>Гиниятов А.Р.</b> Работа распределенной генерации в системе. . . . .	630
<b>Гордеев М.Д.</b> Применение в энергетике альтернативных видов топлива. . . . .	633
<b>Дворнова Е.А.</b> Преимущества электрических станций, работающих на угле над электрическими станциями, работающими на природном газе. . . . .	636
<b>Донецкий Д.С.</b> Проблемы и перспективы создания установок децентрализованного электроснабжения на базе газотурбинных двигателей. . . . .	639
<b>Ефимов Д.В.</b> Альтернативные виды топлива для камер сгорания газотурбинной установки. . . . .	642
<b>Зайтов Р. И.</b> Хроматографический анализ газообразного топлива и продуктов его горения. . . . .	645
<b>Залялов А.А.</b> Сравнительный анализ газовых турбин малой мощности отечественного и зарубежного производства. . . . .	648
<b>Зиятдинова А.Р.</b> Работа электрических станций на оптовом рынке электроэнергии. . . . .	652
<b>Зозуля И.В.</b> Перспективы совершенствования горелок ГТУ. . . . .	654
<b>Ибадов Р.В.</b> Проектирование электрических станций малой мощности. . . . .	657
<b>Имамова Д.Э.</b> Различия между газотурбинными и газопоршневыми установками. . . . .	660
<b>Ишалин А.В.</b> Способы минимизации эмиссии вредных веществ в камере сгорания ГТУ при использовании метано-водородного топлива. . . . .	663
<b>Ишалин А.В.</b> Уменьшение стоимости природного газа за счет использования низкокалорийного синтез газа и водорода. . . . .	665

<b>Казбакова И.Р.</b> Исследование режимов работы газотурбинной установки PG611FA. ....	667
<b>Клейн Е.В.</b> Исследование стадии сушки твердых частиц в поточных газогенераторах. ....	670
<b>Кораблев М.Д.</b> Развитие энергетического комплекса российской федерации в условиях ограниченного импорта. ....	673
<b>Кочнева О.А.</b> Подготовка персонала АЭС. ....	677
<b>Кошеварова Р.С.</b> Реформа электроэнергетики в России. ....	679
<b>Красивов Я.Ю.</b> Перспективы внедрения водородных технологий в энергетике по Республике Татарстан. ....	682
<b>Кубашев А.Р.</b> Импортозамещение в генерирующем комплексе. ....	684
<b>Латыпова А.А., Абдуллина А.А.</b> Комбинированные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии. ....	687
<b>Лучкина Е.Е., Сидоркина О.А.</b> Использование твердых углеродистых материалов после пиролиза для сжигания. ....	690
<b>Маликова Л.В.</b> Создание инфраструктуры для электромобилей с учетом микрогенерации в России. ....	693
<b>Мердина И.С., Маслов И.Н.</b> Сущность циркулярной экономики. ....	696
<b>Микусов Е.О.</b> Исследование процессов внутрицикловой газификации твердого топлива. ....	699
<b>Микусов Е.О.</b> Расчёт энергетических нагрузок на основании фактических измерений. ....	702
<b>Мингазов Н.Р.</b> Тенденции развития камер сгорания ГТД. ....	705
<b>Минеева В.Д.</b> Анализ свободных и вынужденных колебаний подогревателя высокого давления в зависимости от свойств материала на основе ANSYS. ....	707
<b>Миннуллина А.С.</b> Перспективы развития энергетической отрасли Республики Татарстан в современных условиях. ....	710
<b>Муругов Д.А.</b> Использование газотурбинных установок в технологии по добыче природного газа. ....	713
<b>Мустафин Р.Р., Нурмухамметов И.Н.</b> Цифровизация в тепловых электростанциях. ....	716
<b>Набиуллина М.Ф.</b> Исследование работы гибридной мини-ТЭС на биотопливе с ветроэнергетической установкой. ....	719
<b>Насибуллин А.А.</b> Сравнение характеристик газотурбинных установок и газопоршневых установок мощностью 10 МВт. ....	722
<b>Наумова А.А.</b> Экологичность камеры сгорания газотурбинной установки. ....	725
<b>Наумова С.И.</b> Современные материалы для линий передачи электроэнергии. ....	727
<b>Новоселова М.С.</b> Оценка эксплуатационных характеристик ГТУ типа НК-16-18 СТ. ....	730
<b>Нуриев Т.Р.</b> Современные газотурбинные установки. ....	733

<b>Нурмухамметов И.Н., Хакимуллина Л.Ш.</b> О преемственности в изучении основ теоретической механики в школьном предмете «Физика» и дисциплине «Теоретическая механика» в ВУЗе. . . . .	737
<b>Орлов А.С.</b> Модернизация газотурбинной установки. . . . .	741
<b>Паширов Е.Г.</b> Амортизационно-натяжное устройство гусеничного транспорта. . . . .	744
<b>Петров А.В.</b> Расчет поправочного коэффициента удельных электрических нагрузок многоквартирных домов для выбора источников генерации. . . . .	747
<b>Петров Д.Н.</b> Эффективность функционирования ВИЭ в Республике Башкортостан. . . . .	750
<b>Печенкин Я.О.</b> Расчёт электрических нагрузок при выборе источников генерации. . . . .	753
<b>Садриев Р.Р., Шавалеев Б.Д., Седой Р.Д.</b> Использование газотурбинного двигателя в автомобилях. . . . .	756
<b>Сайфуллина Э.И.</b> Теплообменные аппараты. . . . .	758
<b>Сидоркина О.А., Лучкина Е.Е.</b> Анализ свойств минеральной части биотоплива растительного происхождения. . . . .	761
<b>Ситдииков А.Р.</b> Методы очистки сточных вод энергетических предприятий. . . . .	764
<b>Смирнова Д.И.</b> Выбор электрооборудования с учетом условий окружающей среды. . . . .	767
<b>Соколова К.С.</b> Перспективы развития возобновляемых источников энергии в Российской Федерации. . . . .	769
<b>Сулейманов Э.В.</b> Использование биомассы в схемах ПГУ. . . . .	772
<b>Тагиров Э.Р.</b> Повышение эффективности парогазовой турбинной установки. . . . .	775
<b>Тараскин С.А.</b> Повышение эффективности станций за счет установки газотурбинного оборудования. . . . .	778
<b>Теплов В.М.</b> Интенсификация стадии предварительной подготовки нефти с использованием аппаратов центробежного типа. . . . .	781
<b>Титов С.Е.</b> Перспективы развития альтернативной энергетики в Оренбургской области. . . . .	784
<b>Федорова В.Р.</b> Развитие геотермальной энергетики. . . . .	787
<b>Филимонов А.А.</b> Применение программного обеспечения COMSOL Multiphysics для расчетов в технической механике. . . . .	790
<b>Хабибрахманова А.А.</b> Гидроаккумулирующие электростанции, преимущества и недостатки. . . . .	793
<b>Хабибуллин Б.Р.</b> Использование различных видов топлива на современных электрических станциях для повышения КПД и снижения выбросов в атмосферу. . . . .	795
<b>Хабибуллин И.Ф.</b> Материалы с памятью формы в конструкционно-технологических решениях изделий машиностроения. . . . .	798

<b>Ханго О.</b> Энергетические ресурсы Республики Намибия и возможности их эффективного использования. . . . .	801
<b>Ханов Н.Т., Абдуллина А.А.</b> Новые возобновляемые источники энергии. . . . .	804
<b>Хасанов А.А.</b> Профилирование лопатки стационарной ГТУ. . . .	806
<b>Цыкунов Д.С.</b> Эффективность энергоснабжения потребителей изолированных населенных пунктов. . . . .	809
<b>Чу В.Ч., Барсков В.В., Матвеев Ю.В., Фам Т.К.</b> Повышение энергоэффективности судовых малогабаритных газотурбинных установок за счет совершенствования тепловой схемы Брайтона. . . .	812
<b>Чуксеева А.А., Абдуллина А.А.</b> Мини-гидроэлектростанция. . .	816
<b>Шайхутдинов К.А.</b> Роль жидкостной карбонитрации в комбинированной химико-термической обработке сталей ВКС-7 и ВКС-10. . . . .	819
<b>Шакиров М.А.</b> Повышение энергоэффективности газотурбинной установки за счёт использования разных видов топлива. . . . .	821
<b>Шакиров Э.Р.</b> Выбор электрогенерирующего оборудования на основании фактических измерений. . . . .	824
<b>Шаяхметов Ф.Р.</b> Экономическое обоснование собственной генерации. . . . .	827
<b>Янушевская Я.С.</b> Состояние энергетики Камчатского края и перспективы её развития. . . . .	830

## СЕКЦИЯ 8. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<b>Айтиева С.В., Газизова Р.Н.</b> Топливные ячейки и их преобразование в топливные элементы . . . . .	833
<b>Ваганов М.С, Котомкина Д.О.</b> Защитные внутренние покрытия трубопроводов . . . . .	836
<b>Ганиев И.Р.</b> Силиконовые аэрогели в сфере теплоизоляции. . .	839
<b>Гузаеров М.Л., Миннигалимов Р.Р.</b> Перспективность графеновых материалов в области электроники. . . . .	841
<b>Давлетбаева А.Р., Закиров И.Н.</b> Первапорационные мембраны для обезвоживания изопропилового спирта . . . . .	844

<b>Закиров И.Н., Сазонов О.О., Хисматуллин З.М.</b> Синтез полиуретановых иономеров. . . . .	847
<b>Котомкина Д.О., Ваганов М.С.</b> Композиционные материалы на основе бентонита. . . . .	849
<b>Ли Е.Д., Файзулина З.З., Давлетбаева И.М.</b> Модифицирующее воздействие на полидиетилсилоксан модификаторов органозамещенных производных кремнезема, полученных кислотным катализом . . . . .	852
<b>Насыбуллин Р.Р.</b> Полиуретановые водонепроницаемые мембраны. . . . .	855
<b>Низамов А.А., Ваганов М.С., Давлетбаева А.Р., Васильев В.Р., Насыбуллин Р.Р.</b> Полиуретановые иомеры в качестве матрицы для гель-электролитов, используемых в литиевых источниках тока. . . . .	857
<b>Никитин Н.Н., Демидов Р.Р., Шайдуллин Р.Р.</b> Современные способы защиты трубопроводов котлов от коррозии. . . . .	860
<b>Панов Н.М.</b> Борорганические полиуретаны в качестве паропроницаемых и газоразделительных мембран . . . . .	863
<b>Сабитов Ш.К.</b> Некоторые материалы в конструкции электролизера и их особенности. . . . .	866
<b>Сазонов О.О., Закиров И.Н.</b> Фосфорорганические полиуретановые защитные покрытия . . . . .	868
<b>Слюднева Д.А.</b> Влияние легкоплавкой соли на процесс скоростного спекания керамики в поле СВЧ. . . . .	872
<b>Соколов К.А., Бондарева А.С.</b> Эффект памяти формы в полимерных материалах . . . . .	875
<b>Утякова Э.Р.</b> Материалы инженерных барьеров. . . . .	877
<b>Файзулина З.З., Мухамадеев И.М.</b> Модифицирующее воздействие амфифильных органозамещенных производных кремнезёма на свойства гетероцепных полимеров . . . . .	880
<b>Хисматуллин З.М., Сазонов О.О., Закиров И.Н.</b> Полиуретановые паропроницаемые мембраны . . . . .	882
<b>Шакирова О.Ю.</b> Легкоплавкие боросиликатные глазури на основе кремнезема для керамики. . . . .	884
<b>Щетинина А.А.</b> Влияние аморфного кремнезема на качество керамики при спекании термовысокочувствительных глин . . . . .	887

<b>Янушевская Я.С., Хаир Т.</b> Оценка сорбционных свойств металл-альгинатных гидрогелей на основе элементного анализа их состава. ....	890
<b>Яппаров Т.Р., Марданов Н.И.</b> Технологии очистки воды природными сорбентами .....	893

Научное издание

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2023 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ  
ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция

(Казань, 26-28 апреля 2023 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В трех томах

Том 2

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова

Авторская редакция

Корректор *Д.А. Ганеева*

Компьютерная верстка *Д.А. Ганеевой*

Дизайн обложки *Ю. Ф. Мухаметшиной*

КГЭУ

420066, Казань, Красносельская, д. 51