



**КГЭУ**

**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2024  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

---

**Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 24–26 апреля 2024 г.)**

**Материалы конференции**

**В                    томах**

**ТОМ 2**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2024 «ЭНЕРГЕТИКА И  
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 24-26 апреля 2024 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В четырех томах

ТОМ 2

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

Казань 2024

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. Суслов;

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 – 2024 «Энергетика и цифровая  
трансформация»: электронный сборник статей по материалам  
конференции: [в 4 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2024. – Т. 2. – 819 с.

ISBN 978-5-89873-663-7 (общий)

ISBN 978-5-89873-665-1 (т. 2)

В электронном сборнике представлены статьи по материалам Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2024 «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 978-5-89873-663-7 (общий)

© КГЭУ, 2024

ISBN 978-5-89873-665-1 (т. 2)

# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

## Секция 1. Ядерная, тепловая и электрохимическая энергетика

УДК 621.311.22

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АБСОРБЦИОННОЙ БРОМИСТОЛИТИЕВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ В СОСТАВЕ ПГУ

Абрамов Руслан Александрович

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

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

rus.abramov17@gmail.com

Как известно, повышение температуры окружающего воздуха приводит к понижению КПД и мощности парогазовой установки (ПГУ) [1]. В данной статье рассматривается схема ПГУ с внедрением в нее абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ) с целью повышения эффективности установки в жаркие периоды. Схема может быть полезна для предприятий, стремящихся к повышению энергоэффективности своих установок.

**Ключевые слова:** абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина, парогазовая установка, энергоэффективность.

### THE USE OF A LITHIUM BROMIDE ABSORPTION CHILLER IN THE CCGT

Abramov Ruslan A.

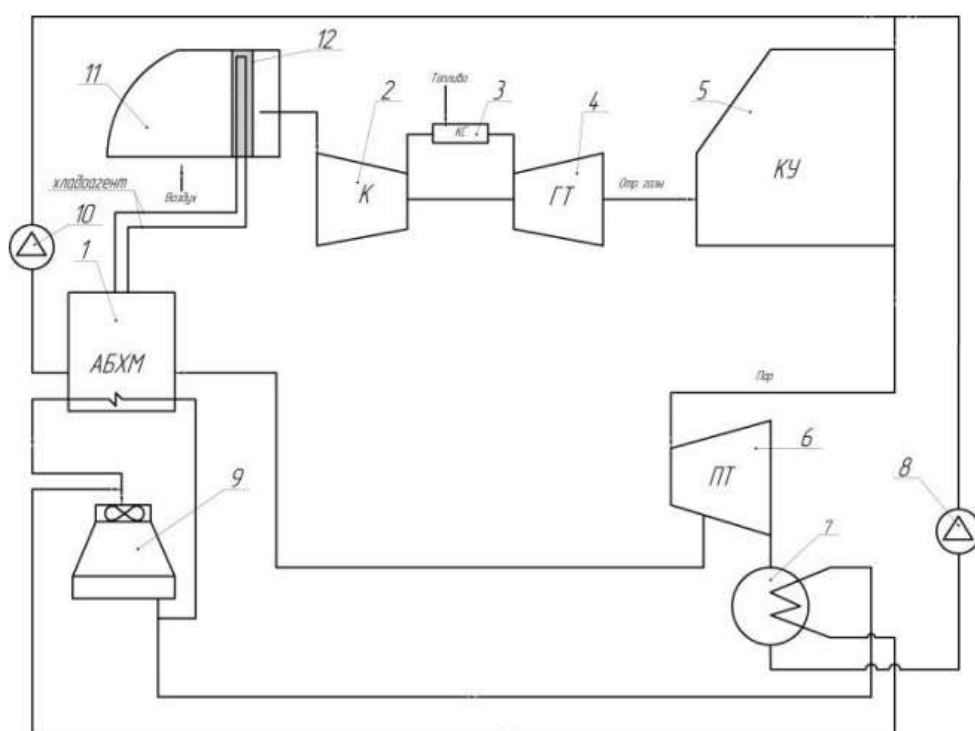
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rus.abramov17@gmail.com

As it is known, an increase in the temperature of the surrounding air leads to a decrease in the efficiency and power of a combined cycle gas turbine (CCGT) [1]. This article discusses a scheme of CCGP with the integration of a lithium bromide absorption chiller (LBAC) in order to increase the efficiency of the unit during hot periods. The scheme may be useful for enterprises aiming to improve the energy efficiency of their installations.

**Keywords:** lithium bromide absorption refrigeration chiller, combined cycle gas turbine, energy efficiency.

Снижение мощности ПГУ является серьезной проблемой, поскольку это может привести к невыполнению графика мгновенной мощности блока [2]. Решением данной проблемы может стать применение абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ) в составе ПГУ с целью понижения температуры, поступающего в компрессор. Исследования показывают, что внедрение АБХМ в состав ПГУ позволяет значительно улучшить работу системы и достичь более эффективного использования энергоресурсов [2]. На рисунке представлена принципиальная схема включения АБХМ в ПГУ.



Принципиальная схема ПГУ – АБХМ: 1 - абсорбционная холодильная машина; 2 - компрессор; 3 - камера сгорания; 4 – газовая турбина; 5- котел-утилизатор; 6 – паровая турбина; 7 – конденсатор; 8 – конденсатный насос; 9 – вентиляторная градирня; 10 – насос технической воды; 11 – комплексное воздухоохлаждающее устройство (КВОУ); 12 – теплообменник КВОУ.

В испарителе АБХМ 1 охлаждается хладоноситель, который потом поступает в теплообменник КВОУ 12. Главной особенностью абсорбционной холодильной машины является то, что, в отличие от парокompрессионной, для ее работы не требуется электрическая энергия (за исключением приводов насосов, необходимых для функционирования АБХМ). Работа АБХМ осуществляется за счет тепловой энергии. В данной схеме источником тепловой энергии является пар из отбора паровой

турбины 6. В КВОУ 11 происходит очистка воздуха и охлаждение за счет того, что АБХМ отбирает теплоту воздуха через теплообменник. Вода, которая образуется путем конденсации водяных паров в охлаждаемом воздухе, не содержит солей и является ценным ресурсом для электростанции. Поэтому ее можно собирать и использовать на станции для собственных нужд. Далее воздух поступает в компрессор ГТУ 2. В связи с тем, что воздух имеет пониженную температуру за счет АБХМ, работа компрессора на сжатие воздуха уменьшается. Именно благодаря данному принципу увеличивается мощность ГТУ и, соответственно, всей парогазовой установки. После прохождения через компрессор, воздух направляется в камеру сгорания 3, где смешивается с топливом. После этого смесь горячих газов поступает в газовую турбину. Отработанные газы после прохождения газовой турбины поступают в котёл-утилизатор 5, где тепловая энергия газов используется для производства пара. Пар направляется в паровую турбину 6 с присоединенным конденсатором 7 для конденсации отработавшего пара, который снова подается в цикл с помощью насоса 8. В конденсатор поступает охлаждающая вода с градирни 9, которая используется для отвода тепла от отработавшего пара и низкопотенциальной «отработанной» тепловой энергии от АБХМ.

Использование АБХМ представляет собой перспективное решение для повышения эффективности ПГУ в жаркие периоды времени. Примером удачной реализации проекта является энергосберегающая система АБХМ HSA 1157 - ПГУ-110 ООО («ЛУКОЙЛ - Астраханьэнерго») [3].

### **Источники**

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. 3-е изд., стер. — М.: МЭИ, 2009. С. 199-204.

2. Менделеев, Д. И. Исследование влияния абсорбционной холодильной машины на режимы работы парогазовой установки / Д. И. Менделеев, Ю. Я. Галицкий // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 4(44). – С. 37-46.

3. Галимова, Л. В. Термодинамический анализ работы парогазовой установки в составе энергосберегающей системы на базе абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины / Л. В. Галимова, Д. З. Байрамов // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 57-65.

## **СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ГОРЯЧЕЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ОТ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ**

Айтиева Светлана Викторовна

Науч. рук. канд.техн.наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

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

aytieva.svetlana@icloud.com

В данной работе рассматривается переход от центрального горячего водоснабжения на индивидуальное горячее водоснабжение. Приводятся нормативные документы, регламентирующие требования к качеству горячего водоснабжения. Приводится расчёт экономии средств от использования индивидуальных тепловых пунктов.

**Ключевые слова:** индивидуальный тепловой пункт, многоквартирные дома, потребление, энергоресурсы, снабжение.

## **REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION DURING THE TRANSITION TO HOT WATER SUPPLY FROM INDIVIDUAL HEATING POINTS**

Aitieva Svetlana V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aytieva.svetlana@icloud.com

In this paper, the transition from central hot water supply to individual hot water supply is considered. The normative documents regulating the requirements for the quality of hot water supply are given. The calculation of savings from the use of individual heating points is given.

**Keywords:** transformer, electrical networks, regulation, voltage, control, management.

В настоящее время достаточно сложно производить реконструкцию систем теплоснабжения, которые имеют достаточно большой износ и большинство тепловых сетей нуждаются в модернизации и обновлении. Климатические условия Российской Федерации диктуют постоянное

потребление тепловой энергии и именно поэтому сложно производить масштабное перевооружение тепловых сетей.

Также стоит учитывать, что СанПин №2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения». Температура горячей воды в местах водоразбора должна быть не ниже 60°C и не выше 75°C, а качество воды у потребителя должно отвечать требованиям, предъявляемым к питьевой воде. Достаточно часто поставщик услуги недобросовестно выполняет санитарные правила и нормы, а также со стороны управляющей компании не всегда обеспечивается необходимая циркуляция воды, что приводит к лишнему сливу воды и повышенному потреблению.

В качестве решения данных потерь можно рассмотреть переход с центральных тепловых пунктов (ЦТП) на индивидуальные тепловые пункты (ИТП) с водо-водяными подогревателями.

При анализе [1,2] определено, что при установке ИТП в домах с разной площадью и разным количеством потребителей горячего водоснабжения наблюдается снижение расхода холодного водоснабжения с практически неизменным расходом (рис.1). Это значит, что качество коммунальной услуги увеличилось за счёт практически постоянной температуры воды и химсостава воды.

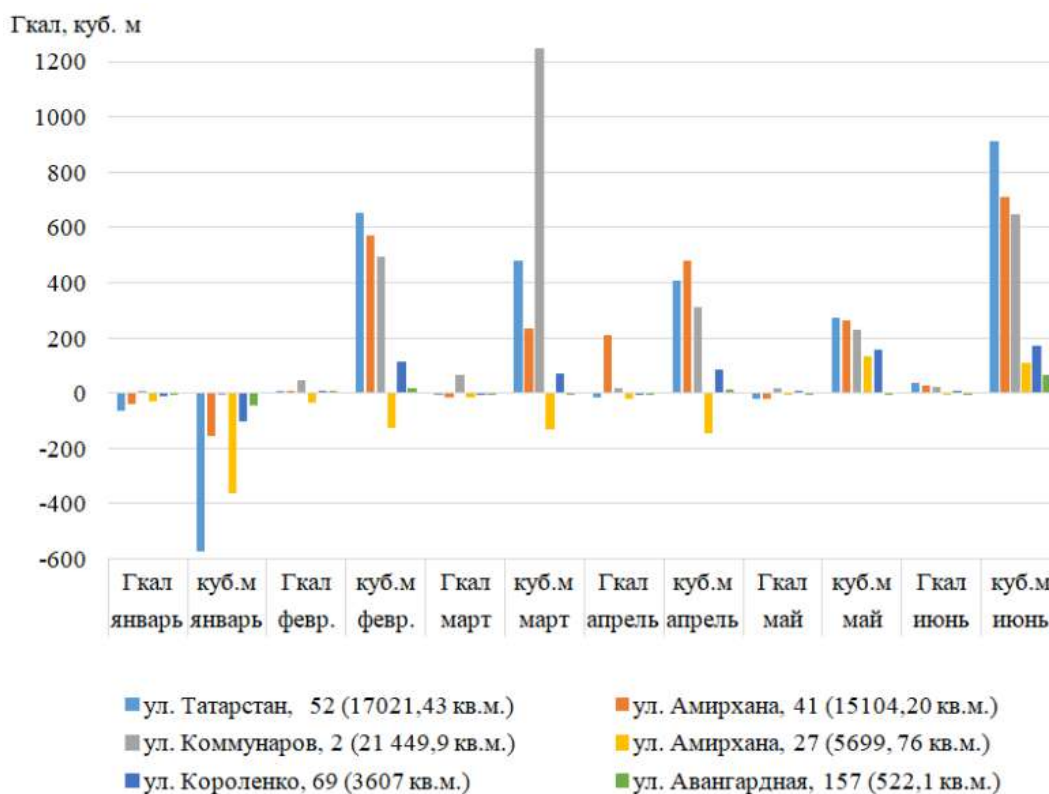




Рис.1. Разница в потреблении тепловой энергии и холодной воды при снабжении через ЦТП и ИТП

Рассматриваемые дома различных площадей были рассчитаны на изменение платежей (рис.2) [3-4].

Изменение платежа за горячее водоснабжение по однотипным домам

№ п/п	Площадь дома, кв. м.	Кол-во жильцов	Динамика изменения потребления тепловой энергии		Динамика изменения потребления холодной воды за период		Динамика изменения платежа на 1 кв.м., руб.
			Гкал	%	куб. м	%	
1	17021,43	773	-63,38	-12,3	2147,17	21,3	-3,32
	15104,2	723	165,64	24,9	2106,50	23,0	19,02
2	14886,6	672	-36,44	-7,9	1468,25	17,2	-1,90
	14399,6	544	18,04	4,8	679,05	11,8	2,74
3	12269	567	-36,52	-8,5	984,65	12,0	-3,03
	11395	511	34,96	8,8	2058,65	28,4	7,88
4	3649,4	170	-89,71	-74,5	171,31	5,7	-36,13
	3648,9	173	0,9	0,7	756,54	28,7	4,12
5	1454,2	75	-14,03	-34,2	238,11	22,1	-11,55
	1450,6	79	2,01	3,6	428,77	37,3	7,43

Рис.2. Изменение платежей за ГВС

В ходе расчётов пренебрегались погодные условия, т.к. они не оказывают значительного влияния на потребление горячего водоснабжения. Важно отметить, что увеличение платы за ГВС возможно по ряду причин: недостаточная настройка ИТП и отсутствие более тщательной выборки для наибольшей чувствительности автоматики пункта теплоснабжения.

Подводя итоги, можно сказать, что при переходе с центрального теплоснабжения на индивидуальное теплоснабжение. Выявлено снижение потребления тепловой энергии на ГВС примерно на 20%, а также снижение потребления воды до 25%.

### Источники

1. Семенов В.Г., Барон В.Г., Разговоров А.С. Индивидуальные тепловые пункты нового поколения // Энергосбережение. 2017. №7. С. 30-37.
2. Запольская И.Н., Ваньков Ю.В., Зиганшин Ш.Г., Валеев А.Ф., Зверев О.И. Снижение тепловых потерь энергоснабжающей организации

модернизацией систем горячего водоснабжения // Вестник КГЭУ. 2017. №4 (36). С. 54-64.

3. Звонарева Ю. Н., Ваньков Ю. В. Работа системы теплоснабжения при поэтапном внедрении автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов // Известия вузов. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2017 Т.19, №1-2. С. 164-169.

4. Пыркков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. Киев: Такі справи, 2007. 252 с.

УДК 661.96

## СПОСОБЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОДОРОДА

Асхадуллин Нияз Рашитович<sup>1</sup>, Шаймарданов Ансель Ренатович<sup>2</sup>

Науч. рук. док. техн. наук Филимонова Антонина Андреевна

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

<sup>1</sup>[zhdunov09@mail.ru](mailto:zhdunov09@mail.ru), <sup>2</sup>[ansel.shaymardanov@gmail.com](mailto:ansel.shaymardanov@gmail.com)

Данная статья рассматривает способы транспортировки водорода через газовые (водяные) трубы, суда, танкеры, автоцистерны и автомобильные перевозки

**Ключевые слова:** водородная энергетика, аммиачная смесь, плотность энергии, водородное охрупчивание, сжиженный водород

## METHODS OF HYDROGEN TRANSPORTATION

Askhadullin Niyaz R.<sup>1</sup>, Shaimardanov Ansel R.<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>[zhdunov09@mail.ru](mailto:zhdunov09@mail.ru), <sup>2</sup>[ansel.shaymardanov@gmail.com](mailto:ansel.shaymardanov@gmail.com)

This article examines the ways of transporting hydrogen through gas (water) pipes, ships, tankers, tankers and road transport

**Keywords:** hydrogen energy, ammonia mixture, energy density, hydrogen embrittlement, liquefied hydrogen

Водородная энергетика является одним из самых перспективных видов энергетике, к которому стремятся все ведущие страны мира, в том числе и Россия. Но в любом виде получения энергии есть свои нюансы, в водородной энергетике один из таких нюансов – транспортировка водорода.

Сжатие, сжижение, смешивание с другими веществами. У каждого из данных способов транспортировки водорода есть свои недостатки и преимущества. Главными факторами при транспортировке водорода выступают расстояние, объём, маршрут поставок и нужды потребителей.

Если рассматривать сжатый водород, который имеет только 15% плотности энергии (количество энергии на единицу объёма) бензина, то для хранения водорода, эквивалентно равному бензину, уйдёт в семь раз больше объёма.

Решить эту проблему можно, смешав водород с веществом с большой плотностью. Для этого подойдет аммиак, для полученной смеси понадобится меньше места, что позволит хранить больше водорода. Но необходимы вложения на конверсию и реконверсию [1].

Конверсия - процесс переработки газов с целью изменения состава исходной смеси. Реконверсия - процесс переработки газов с целью возвращения их в исходное состояние (до конверсии).

Водород можно пустить по газовым сетям, но существует ряд нюансов:

- Придётся увеличить объёмы поставок из-за низкой плотности энергии водорода;
- Имеющаяся инфраструктура (бойлеры, потребительские котлы) не приспособлены для водорода;
- Людям нужны разные виды газа, из-за чего придётся поставлять и чистый водород, и смесь [2];
- Не каждая труба подойдёт для поставок водорода, всё из-за типа стали: трубы, сделанные из низкопрочной стали не смогут выдержать долгий контакт с водородом из-за водородного охрупчивания [3].

Водородное охрупчивание - снижение пластичности и последующее за этим разрушение металла из-за диффузии водорода, что делает металл более хрупким.

Водород можно перевозить танкерами, используя его в качестве топлива, сжигая в день примерно 0,2% перевозимого газа. Лучший вариант перевозить водорода в танкерах СНГ (сжиженный нефтяной газ), в их резервуары можно залить аммиачную и другие подобные смеси водорода [4].

Существует вариант возить жидкий водород автомобильными цистернами. Сам процесс сжижения энергозатратный, а значит, дорогой, но при этом расходы на транспорт минимальны. Они приблизительно схожи с расходами на доставку трубопроводом.

Особенностью этого процесса является то, что водород становится жидким при очень низкой температуре  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  и для его хранения требуются специальные криогенные цистерны, способные сохранить его с минимальными потерями [5].

Как видно, экономика автоперевозок зависит от объёма поставок: чем больше требуется водорода, тем более выгодно построить трубопровод. Чем меньше и чем ближе потребитель, тем выгоднее возить водород грузовиками.

Исходя из тех вариантов перевозки водорода, которые были рассмотрены, можно сделать вывод, что наиболее перспективным способом транспортировки водорода являются трубы. В мире построено миллионы километров газопроводов и использовать их в качестве способа транспортировки водорода очень удобно и выгодно.

### **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. — 229, [3] с. ISBN 978-5-7996-1316-7

2. Алексеев, О.К. Транспортировка водорода/ О.К. Алексеев, С.И. Козлов, В.Н. Фатеев// Научная электронная библиотека «КиберЛенинка» – 2011 – №3 – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transporirovka-vodoroda/viewer> (дата обращения: 21.06.2011г.).

3. Алефельд Г., Фелькль И. (ред.) Водород в металлах 1: Основные свойства 2: Прикладные аспекты. Мир, Москва (1981).

4. Шамрай Ф. А. Доступные сегодня технологии хранения и транспортировки водорода // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022. – № 1(121). – С. 50-55. – EDN VADSRC.

5. Химический портал [Электронный ресурс]. <https://chem.ru/vodorod.html> (дата обращения 20.01.2024г.).

УДК 661.183.12

## **ХИМИЧЕСКАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ**

Бабилов Олег Евгеньевич

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Чичирова Наталия Дмитриевна

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

Olegsey1998@yandex.ru

В статье представлены современные химические методы регенерации ионообменных смол. Рассмотрены особенности, основные преимущества и недостатки конкретных методов, а также их влияние на эффективность и экологичность процесса регенерации.

**Ключевые слова:** ионообменные смолы, регенерация, химические методы.

## CHEMICAL REGENERATION OF ION EXCHANGE RESINS

Babikov Oleg E.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Olegsey1998@yandex.ru

The article presents modern chemical methods for the regeneration of ion exchange resins. The advantages and disadvantages of each method are discussed, as well as their impact on the efficiency and environmental friendliness of the regeneration process.

**Keywords:** ion exchange resins, regeneration, chemical methods.

Важным аспектом эксплуатации ионообменных смол является их эффективная регенерация – восстановление емкости и сорбционных свойств после истощения. Благодаря эффективной регенерации достигается оптимизация затрат на эксплуатацию ионообменных смол за счет их многократного использования, сокращаются объемы используемых химических реагентов и сточных вод, уменьшаются затраты электроэнергии на проведение регенерации, увеличивается межрегенерационный период, и улучшаются характеристики очищенной воды [1].

Для каждого типа ионообменных смол существует свои методы регенерации, что обуславливает многообразие методик, описанных в литературе [2]. В данной работе предлагается рассмотреть химические методы регенерации ионитов, основанные на использовании растворов кислот, щелочей или солей для вытеснения поглощенных ионов. В Таблице 1 систематизированы основные особенности, а также выделены их положительные стороны и недостатки.

Таблица 1

## Сравнение методов химической регенерации ионообменных смол

	Применение	Используемые реагенты	Преимущества	Недостатки
Регенерация кислотами	Регенерация катионо-обменных смол	HCl	Высокая эффективность, доступность, низкая коррозионная активность по отношению к нержавеющей стали.	Образование кислых сточных вод. Не применяется для регенерации смол, чувствительных к хлору.
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Обеспечивает высокую эффективность и не вызывает коррозии чугуна.	Образование кислых сточных вод. Выше стоимость по сравнению с HCl.
		HNO <sub>3</sub>	Высокая эффективность, возможность удаления органических загрязнений.	Образование кислых сточных вод. Высокая коррозионная активность.
Регенерация щелочами	Регенерация анионо-обменных смол	NaOH	Высокая эффективность, доступность, низкая стоимость.	Образование щелочных стоков, высокая коррозионная активность.
		KOH	Менее коррозионно-активен, чем NaOH, более высокая растворимость.	Образование щелочных сточных вод. Выше стоимость по сравнению с NaOH.

		$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Менее едкий, чем NaOH и KOH, низкая коррозионная активность, более щадящее действие на ионитные смолы.	Образование карбонатных сточных вод, более низкая эффективность по сравнению с NaOH и KOH.
		Силикаты натрия	Используются в качестве добавок к NaOH или KOH. Повышают емкость ионитов.	Усложнение и удорожание процесса регенерации.
Регенерация солями	Регенерация катионо-обменных и анионо-обменных смол	NaCl	Высокая эффективность, доступность, низкая стоимость	Образование солевых сточных вод
		$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Низкая коррозионная активность, не образует хлорсодержащих сточных вод	Образование сульфатных сточных вод, более низкая эффективность по сравнению с NaCl.
	Регенерация катионо-обменных смол	$\text{CaCl}_2$	Повышенная эффективность удаления некоторых катионов	Образование солевых сточных вод, более высокая коррозионная активность.

Также возможно использовать комбинированные методы регенерации (комбинации кислот и солей, щелочей и солей), применять хелатирующие агенты (ЭДТА, НТА, ДТРА). В целом выбор оптимального реагента для регенерации ионообменных смол зависит от типа ионообменной смолы, поглощенных ионов, требуемого качества регенерации, экономических и экологических факторов.

### Источники

1. Власова А.Ю. Ресурсосберегающие технологии утилизации высокоминерализованных кислых отходов с ионитной части

комбинированной водоподготовительной установки на Стерлитамакской ТЭЦ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 6. С. 25-36.

2. Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонова А. А., Бабилов О.Е. Ресурсосберегающая технология регенерации ионитной водоподготовительной установки ТЭЦ // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Материалы 92-го заседания Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко, Казань, 21–26 сентября 2020 года. 2020. С. 211-216.

УДК 697.347

## **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАФИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ОБРАТНОЙ СЕТЕВОЙ ВОДЫ НА СХЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Багманов Айрат Талгатович

Науч. рук. к.т.н., доцент. Безруков Роман Евгеньевич

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

bagmanoffayrat@yandex.ru

В статье рассмотрено влияние изменения графика температуры прямой и обратной сетевой воды на схемы теплоснабжения. Приведены последствия при изменении температур сетевой воды и методы оптимизации.

**Ключевые слова:** сетевая вода, график температур, гидравлические потери, прямая и обратная сетевая вода.

## **INFLUENCE OF CHANGES IN RETURN WATER TEMPERATURE SCHEDULE ON HEAT SUPPLY SCHEDULES**

Bagmanov Airat T.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bagmanoffayrat@yandex.ru

The article examines the impact of changing the temperature graph of forward and reverse network water on heat supply schemes. The consequences of changes in network water temperatures and optimization methods are given.

**Keywords:** network water, temperature graph, hydraulic losses, forward and reverse network water.



В наше время вопросы экономии энергии и повышения энергетической эффективности становятся все более актуальными. Важной задачей жилищно-коммунального сектора является обеспечение надежного и эффективного отопления. Одним из аспектов, влияющих на теплоснабжение, является температурный график сетевой воды.

Температурный режим подачи и возврата сетевой воды устанавливает температуру воды, которая используется для снабжения тепловых сетей и возвращается от пользователей. Этот режим определяется с учётом климатических условий, требований к тепловым нагрузкам и эффективности системы теплоснабжения. Температурный режим прямой и обратной сетевой воды влияет на тепловые и гидравлические потери в трубопроводах, затраты электроэнергии на работу сетевых насосов, на работу турбин.

Изменение графика температуры может повлиять на гидравлические потери в системе отопления, что в свою очередь может вызвать изменение давления в системе и перерасход электроэнергии на перекачивание воды [2,3].

Понижение температуры прямой сетевой воды обычно приводит к увеличению гидравлических потерь. Это связано с тем, что при понижении температуры воды увеличивается количество воды, которое необходимо перекачать для обеспечения необходимого количества тепла [5].

Кроме того, изменение температуры теплоносителя может вызывать дополнительные колебания давления, что может привести к возникновению гидравлических ударов и повреждению оборудования, а также вызывает резкие температурные расширения, что приводит к повреждению трубопроводов [1,4]. Поэтому важно поддерживать стабильный и оптимальный график температуры сетевой воды для снижения гидравлических потерь и обеспечения надежной работы системы теплоснабжения [6].

Для оптимизации графика температуры и минимизации гидравлических потерь необходимо учитывать множество факторов, таких как климатические условия, характеристики тепловых сетей, наличие тепловых пунктов и т.д. В некоторых случаях может быть целесообразно использовать автоматическое регулирование температуры, которое позволяет оперативно изменять график в зависимости от погодных условий и тепловых нагрузок.

Таким образом, изменение температуры прямой и обратной сетевой воды может повлиять на гидравлические свойства системы и на схему теплоснабжения. Увеличение температуры прямой воды приведет к увеличению ее объема и вязкости, что увеличит потери на трение и потребует

увеличения мощности насоса. Уменьшение температуры обратной воды также может вызвать увеличение потерь, особенно в открытых системах где конденсация водяного пара вызывает увеличение гидростатического давления. Для оптимизации графика температуры требуется учет многих факторов, таких как климат и характеристики тепловой сети. Автоматическое управление температурой позволяет оперативно регулировать график для адаптации к изменениям погоды и тепловых нагрузок.

### **Источники**

1. Горбунова Т. Г., Ваньков Ю. В., Медяков А. А. Надежность тепловых сетей: теория и практика // Надежность и безопасность энергетики. 2017. – Т. 10, № 4. – с. 275 – 279.

2. Григорьев В.А., Зорин В.М. Тепловые и атомные электрические станции / Под общ. ред. Григорьева В.А., Зорина В.М. – 2-ое изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – с. 605.

3. Киселев Н.Н Факторы, влияющие на температуру обратной сетевой воды // Новости теплоснабжения, №10 (206), 2017 г.

4. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для теплоэнерг. спец. вузов. — М.-Л.: Энергия, 1987. — 400 с.

5. Самарин, О. Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность: монография / Самарин О. Д. - Москва: Издательство АСВ, 2014. – 296 с.

6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети – 7-е изд., М.: Издательство МЭИ, 2001 г. – 472. с.

УДК 621.352

## **ВЛИЯНИЕ ПОДАЧИ ВОЗДУХА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТВЕРДОКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Базин Дмитрий Александрович

Науч. рук. д-р тех. наук, доцент Филимонова Антонина Андреевна

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

rezort12@mail.ru

В данной работе проводилось численное моделирование топливного элемента с целью получения оптимальных параметров работы. На основе данных, полученных в результате расчета в универсальной программной системе «ANSYS», были

проанализированы такие параметры, как плотность тока, температура на выходе и энергетический КПД. Чем больше подача кислорода в катодную камеру, тем выше плотность тока, а следовательно, энергетический КПД, температура также снижается.

**Ключевые слова:** топливный элемент, моделирование, ANSYS, энергетические показатели.

## **EFFECT OF AIR SUPPLY ON THE ENERGY EFFICIENCY OF SOLID OXIDE FUEL CELL. NUMERICAL MODELING**

Bazin Dmitry A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rezort12@mail.ru

In this paper, numerical modeling of a fuel cell was carried out in order to obtain the optimal operating parameters. Based on the data obtained from the calculation in the universal software system "ANSYS", such parameters as: current density, outlet temperature and energy efficiency were analyzed. The greater the oxygen supply to the cathode chamber, the higher the current density and, consequently, the energy efficiency, the temperature also decreases.

**Keywords:** fuel cell, modeling, ANSYS, energy performance.

Твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ) — один из перспективных типов топливных элементов, который обычно работает при высоких температурах от 700 до 1000 °С [1-2].

Топливные элементы могут использоваться для обеспечения питания большинства электрических или электронных устройств, предназначенных для работы от батарей или обычных источников питания. С помощью программного обеспечения «ANSYS FLUENT» решаются уравнения сохранения импульса, энергии и массы. Результаты также показывают, что плотность тока (ПТ) является основным параметром, определяющим эффективную работу топливного элемента.

В этой статье было проанализировано 10 вариантов изменения расхода кислорода при неизменном составе газа и температуры, которые указаны в таблице 1.

В таблице 2 указаны варианты расхода кислорода.

В таблице 3 указаны полученные данные после расчетов в ПО «ANSYS-Fluent». 1 расчет включал в себя 1000 итераций.

На рисунках 1,3 показано, что при увеличении подачи кислорода происходит рост плотности тока, что позитивно сказывается на энергетическом КПД.

Можно заключить, что даже незначительное повышение подачи кислорода позволяет повысить эффективность реагирования водорода, уменьшает конечные температуры, а также повышает общую эффективность работы твердооксидного топливного элемента.

Таблица 1

Состав топливного газа для топливного элемента

H <sub>2</sub> , mol	H <sub>2</sub> O, mol	CO, mol	CO <sub>2</sub> , mol	O <sub>2</sub> , mol	T, К	Расход топливного газа, кг\с
0,594	0,206	0,163	0,035	0,21	998	0,0000154

Таблица 2

Варианты изменения расхода кислорода

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход O <sub>2</sub> кг\с	2.26e- 05	2.27e- 05	2.28e- 05	2.29e- 05	2.3e- 05	2.5e- 05	2.6e- 05	2.7e- 05	2.8e- 05	2.9e- 05

Таблица 3

Полученные данные после расчетов

№	ПТ, А/м <sup>2</sup>	T, К	O <sub>2</sub> , моль	CO, моль	CH <sub>4</sub> , моль	CO <sub>2</sub> , моль	H <sub>2</sub> O, моль	H <sub>2</sub> , моль
1	5002,5	1331,7	0,0438	0,0675	0,000999	0,0314	0,1569	0,243
2	5007,7	1331,6	0,0442	0,0675	0,000999	0,0315	0,1569	0,243
3	5009,5	1331,6	0,0444	0,0675	0,000999	0,0315	0,157	0,243
4	5015,6	1331,5	0,0446	0,0675	0,000999	0,0315	0,157	0,243
5	5019,4	1331,4	0,0449	0,0674	0,000999	0,0315	0,157	0,242
6	5059	1330,7	0,0479	0,0674	0,000999	0,0316	0,157	0,2424
7	5133,8	1328,9	0,0513	0,0672	0,000999	0,0318	0,158	0,2416
8	5171,7	1327,7	0,0532	0,067	0,000999	0,0319	0,159	0,2412
9	5207,7	1326,5	0,0549	0,067	0,000999	0,032	0,159	0,2408
10	5243,2	1325,2	0,0564	0,0669	0,000999	0,0321	0,159	0,2404



Рис. 1. Изменение плотности тока в зависимости от расхода кислорода



Рис. 2. Изменение температуры на выходе топливного элемента в зависимости от расхода кислорода



Рис. 3. Изменение энергетического КПД в зависимости от расхода кислорода

По результатам математического моделирования видим, что существует оптимальные параметры расхода  $O_2$ . При вариантах расхода  $O_2$  1-5 идёт не такое заметное увеличение КПД, тогда как при вариантах 5-7 видно заметное повышение КПД. Это связано с правильным коэффициентом разбавления воздуха. В будущем на основе этих результатов будет проведено глубокое исследование стратегии добавления воздуха в стек ТОТЭ.

### **Источники**

1. J. Han, S. Yu, S. Yi. Advanced thermal management of automotive fuel cells using a model reference adaptive control algorithm. Int J Hydrogen Energy, 42 (2016), pp. 4328-4341.

2. A. Bacigalupo, L. Morini, A. Piccolroaz. Effective elastic properties of planar SOFCs: a non- local dynamic homogenization approach. Int J Hydrogen. Energy, 39 (2014), pp. 15017-15030.

УДК 628.16

## **МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ИСХОДНОЙ ВОДЫ ОТ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПРИМЕСЕЙ**

Белусова Анастасия Вячеславовна

Науч. рук. асс. О.Е. Бабиков

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

Anastasiya\_691@mail.ru

Наличие железосодержащих примесей в воде негативно влияет на работу тепловых электростанций, так как они приводят к коррозии и износу оборудования. Это приводит к снижению эффективности работы ТЭЦ, увеличению затрат на ремонт и обслуживание оборудования, а также к снижению надежности и безопасности работы станции. Кроме того, высокое содержание железа в воде ведет к негативным последствиям для окружающей среды и здоровья людей.

**Ключевые слова:** водоподготовка, железосодержащие примеси, методы очистки, водоисточник.

# METHODS FOR PURIFYING SOURCE WATER FROM IRON-CONTAINING IMPURITIES

Belousova Anastasia V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Anastasiya\_691@mail.ru

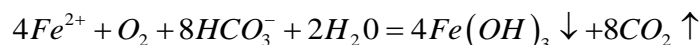
The presence of iron-containing impurities in water negatively affects the operation of thermal power plants, as they lead to corrosion and wear of equipment. This leads to a decrease in the efficiency of the thermal power plant, an increase in the costs of repair and maintenance of equipment, as well as a decrease in the reliability and safety of the station. In addition, high iron content in water leads to negative consequences for the environment and human health.

**Keywords:** water treatment, iron-containing impurities, purification methods, water source.

Основной целью водоподготовки на тепловых электрических станциях является обеспечение требуемого качества воды для эффективной и надежной работы основного и вспомогательного оборудования.

Каждый природный водоем имеет свои особенности и уникальный физико-химический состав воды и требует определенного подхода к выбору технологии и методов осуществления водоподготовки.

Соединения железа встречаются в природных водах в виде двухвалентного (закисного) и трехвалентного (окисного) железа. Одной из основных форм существования железа в воде является гидроксид железа, который может находиться в коллоидном состоянии. Присутствие противоположно заряженных золь кремниевой кислоты способствует осаждению гидроксида железа из коллоидного состояния. При значениях  $pH \leq 4,5$  железо находится в воде в виде ионов  $Fe^{3+}, Fe^{2+}, [Fe(OH)_2]^{2+}$ . Повышение значения  $pH$  приводит к окислению ионов железа (II) в ионы железа (III). Окисление ионов железа(II) кислородом воздуха происходит по реакции:



Удаление железа из поверхностных вод может осуществляться только реагентными методами, в то время как удаление железа из подземных вод чаще всего происходит безреагентными методами.

Распространенным источником железа в наземной воде является загрязнение промышленными сточными водами. При транспортировке по стальным и чугунным трубам концентрация железа в исходной воде увеличивается из-за загрязнения воды продуктами коррозии [3].

При выборе метода удаления железа из воды следует учитывать содержание железа в воде, тип железа, наличие других загрязнений, далее нужно сравнить материальные затраты и выбрать оптимальный вариант очистки исходной воды.

Очистка воды от железа осуществляется путем фильтрации после аэрации или введения окислительных реагентов. В результате железо превращается в форму в виде нерастворимого в воде гидроксида, который улавливаются фильтровально-сорбционной загрузкой.

Существуют различные методы обезжелезивания, такие как:

Метод упрощенной аэрации – это способ очистки воды от железа, при котором вода проходит через камеру с воздухом. Благодаря этому железо окисляется и выпадает в осадок, а затем удаляется фильтрами. Способ прост в использовании, но он может быть менее эффективным, чем другие методы очистки воды при высоких концентрациях железа.

Введение реагентов-коагулянтов. Чтобы освободить воду от взвеси и коллоидных веществ, в нее вводят коагулянты. Коагулянт образует в воде хлопья, адсорбирует коллоиды на своей поверхности и выделяется в виде осадка. Наиболее часто используемым коагулянтом является сульфат алюминия (глинозем)  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , так же применяются сульфат железа (железный купорос)  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , хлорное железо  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  и полигидроксихлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl$  [2].

Ионный метод – это обмен ионов между загрязнениями в воде и ионообменной смолой. В результате ионы железа заменяются на ионы смолы, и железо остается на смоле, а вода становится чистой. Метод имеет глубокую степень обезжелезивания и отсутствует осадок после обработки воды, поэтому повышается сложность работы с его фильтрами.

Обратный осмос – самый эффективный метод очистки. Вода проходит через специальную мембрану, которая пропускает молекулы воды, но задерживает молекулы железа. Такой метод имеет глубокую степень обезжелезивания и очищает воду практически от всех видов загрязнений, но требует предварительной очистки перед прохождением через мембрану и частое обслуживание самих мембран, что увеличивает затраты.



Окисление на основе каталитической загрузки. В этом методе используется фильтр, содержащий катализатор, изготовленный из природного материала, содержащего диоксид марганца. Катализатор ускоряет химические реакции, в результате которых железо и другие загрязняющие вещества превращаются в безопасные соединения. Такой метод широко используется на тепловых электростанциях (ТЭЦ) для очистки воды перед ее использованием в качестве теплоносителя. В этом процессе материал является одновременно окислителем и фильтрующим материалом, но он неэффективен для органического железа и высококонцентрированного железа в воде [1].

### **Источники**

1. Лекомцев, В. Р. Обзор основных методов обезжелезивания воды // Молодой ученый. 2017. № 29 (163). С. 17-20.
2. Химия водной среды в теплоэнергетике: учеб. пособие / Сост.: А.А. Филимонова, А.А. Чичиров, Н.Д. Чичирова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – С .121.
3. М.Х. Умарова, Р.А-В. Турлуев, А.Д. Мадаева Водно-химические режимы теплоэнергетических установок: учебно-методическое пособие- Грозный: ГГНТУ, 2021. С. 89.

УДК 621.352.6

## **КОНСТРУКЦИИ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Биктимиров Роберт Рамильевич

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент Гибадуллина Халида Вазыховна

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

oskar.biktimirov@gmail.com

В статье рассмотрены одни из наиболее перспективных топливных элементов, работающих на водороде. Описаны принципы действия устройств.

**Ключевые слова:** топливный элемент, водород, твердополимерные топливные элементы, щелочные топливные элементы.

## **FUEL CELL DESIGNS**

Biktimirov Robert R.

This article discusses some of the most promising fuel cells operating on hydrogen. The principles of operation of the devices are described.

**Keywords:** fuel cell, hydrogen, solid polymer fuel cells, alkaline fuel cells.

Щелочные топливные элементы (ЩТЭ) являются одними из наиболее эффективных элементов, по разным показателям их эффективность при выработке энергии достигает 70%.

В настоящее время ЩТЭ достаточно хорошо себя зарекомендовали и уже несколько десятков лет используются на космических кораблях [1].

Данный топливный элемент работает при относительно низких температурах, что позволяет ему иметь довольно высокий КПД. Щелочные топливные элементы имеют более низкую стоимость при производстве сравнительно с остальными элементами.

Принцип работы такого элемента заключается в том, что вода, полученная на аноде в результате реакции гидроксильного иона и водорода, отправляется на катод, где снова генерирует гидроксильный ион. В ходе данных реакций, в топливном элементе происходит процесс генерации электричества (Рис .1).

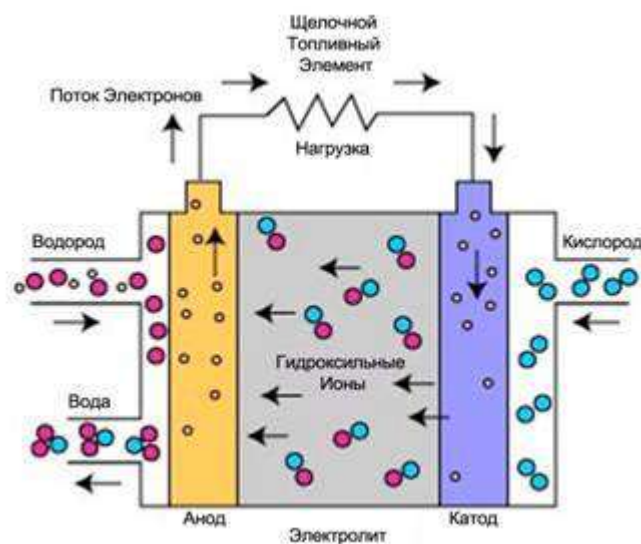


Рис. 1. Процессы в щелочном топливном элементе

Так как щелочные топливные элементы имеют чувствительность к чистоте компонентов (карбонизация электролита в присутствии диоксида

углерода), то следует избегать смешивания газов и использовать более дорогостоящие электроды, с большим количеством платины [2].

Еще одним представителем низкотемпературных топливных элементов является - твердополимерный топливный элемент. В качестве электролита здесь служит протонопроводящая полимерная мембрана.

ТПТЭ представляет собой систему, состоящую из полимерной мембраны, которая разделяет собой электроды и не пропускает топливо с окислителем (Рис. 2).

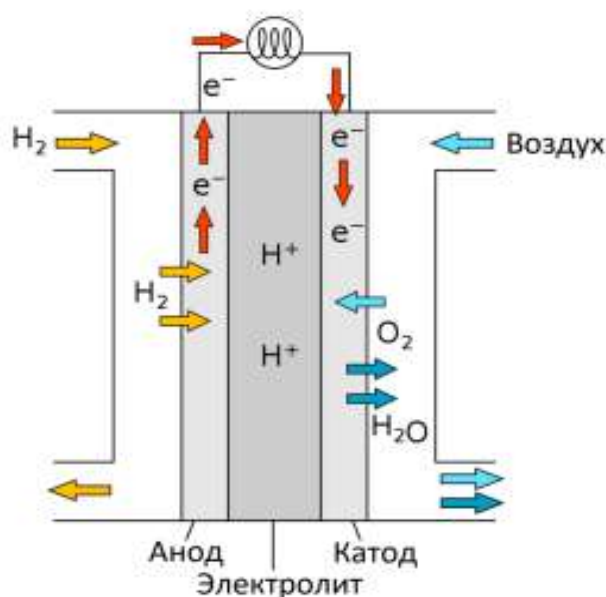


Рис 2. Твердополимерный топливный элемент

На мембрану нанесены каталитические слои (анод и катод), которые находятся в контакте с материалом, обладающим высокой электронной проводимостью. Данный материал называется газодиффузионным слоем (ГДС), он служит для равномерного распределения реагентов по каталитическому слою электрода, отводу теплоты и поддержанию постоянной температуры в зоне реакции.

Не смотря на свою дороговизну, связанную с изготовлением мембраны, данный топливный элемент имеет высокую эффективность (около 60% КПД), компактные размеры и высокие удельные характеристики [3].

Рассмотренные топливные элементы уже нашли свое применение в различных отраслях производства, так, например большинство установок использующих ЩТЭ применяются в подводных лодках и космических

аппаратах, а ТПТЭ служат в гражданских энергоустановках и транспортных средствах.

### **Источники**

1. Кондратьев Д.Г., Матрёнин В.И., Овчинников А.Т., Поспелов Б.С., Соловьёв Г.С., Стихин Ас., Тихонов В.Н., Шихов Е.Г., Щипанов И.В. Перспективы использования щелочных топливных элементов // АЭЭ. 2006. №10.

2. Energy cycle based on a high specific energy aqueous flow battery and its potential use for fully electric vehicles and for direct solar-to-chemical energy conversion / Y. V. Tolmachev, A. Pyatkivskiy, V. V. Ryzhov et al. // Journal of Solid State Electrochemistry. — 2015. — Vol. 19. — P. 2711–2722

3. В. В. Багров, Д. Ю. Графов, А. В. Десятов и др. Электрохимический водородный компрессор на твердополимерном электролите // Энергосбережение и водоподготовка. — 2014. — № 1. — С. 34–37.

УДК 621-039.5

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛЫХ МОДУЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕЛЯХ**

Боровков Даниил Алексеевич

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Филимонова Антонина Андреевна

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

danilka.borovkov.05@mail.ru

В статье представлена информация о малых модульных реакторах, их классификации, преимуществах, а также о возможности использования данного вида реактора в промышленных целях в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** ММР, реактор, промышленность, модульность, водород, высокотемпературность.

## **THE USE OF SMALL MODULAR REACTORS FOR INDUSTRIAL PURPOSES**

Borovkov Daniil A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

danilka.borovkov.05@mail.ru

The article describes small modular reactors, their classification, advantages, as well as the possibility of using this type of reactor for industrial purposes in the Russian Federation.

**Keywords:** SMR reactor, industry, modularity, hydrogen, high temperature.

Малые модульные реакторы (ММР) определяются как ядерные реакторы эквивалентной мощностью 300 МВт или менее, спроектированные по модульной технологии и обеспечивающие экономию за счет серийного производства и коротких сроков строительства [1].

### **Классификация реакторов**

Типы разрабатываемых реакторов классифицируются по виду теплоносителей и топлива, а также характеризуются разными уровнями готовности технологии и лицензирования. Большинство концепций ММР можно подразделить на пять основных категорий: одномодульные и многомодульные легководные (ЛВР) ММР, мобильные/передвижные ММР, ММР Поколения IV и микромодульные реакторы [2].

В Российской Федерации сейчас разрабатываются или уже используются 5 видов реакторов: РИТМ-200 и РИТМ-400 (ЛВР с уран-графитовыми тепловыделяющими элементами (ТВЭлами)), Шельф-М (ЛВР мощностью 35МВт(т.)) и РИТМ-200Н и КЛТ-40С (ЛВР, которые предназначены для установки на атомных ледоколах и плавучих АЭС).

### **Преимущества ММР**

Многие из преимуществ ММР связаны с их конструкцией: они небольшие и модульные. Благодаря этому ММР можно полностью собрать в контролируемых заводских условиях и установить модуль за модулем на площадке, что повышает уровень качества, безопасности и эффективности конструкции. ММР имеют сниженные требования к топливу, что позволяет реже осуществлять перегрузку: каждые 3-7 лет, в отличие от традиционных станций, где это требуется каждые 1-2 года. Некоторые ММР могут работать без перегрузки до 30 лет [3-4].

### **Использование ММР в промышленности**

Промышленные отрасли, такие как нефтеперерабатывающие заводы, химические и целлюлозно-бумажные комбинаты, обрабатывающая промышленность, производство металла, цемента и многие другие, требуют больших объемов тепла. Небольшие ядерные реакторы могут быть использованы для производства тепла, необходимого для обогрева, охлаждения и опреснения воды на местном уровне. Это позволит сэкономить традиционное топливо и использовать его в других целях.

## **Переработка нефти**

Нефтеперерабатывающие заводы используют тепло при температуре от 250 до 400 °С для перегонки различных продуктов из сырой нефти. Они также используют водород для увеличения доли ценных продуктов, таких как бензин. И тепло, и водород сегодня производятся из ископаемого топлива, но их также можно производить с помощью небольших ядерных ЛВР на месте.

## **Получение чистого водорода**

Существует несколько способов получения чистого водорода. Высокотемпературный паровой электролиз (ВПЭ) может преобразовать более 90% используемой электроэнергии в водород, но для этого также необходим источник высокотемпературного пара (600-800 °С). Пар и электричество могут подаваться с помощью реактора с газовым охлаждением (ВТГР). Термолиз при температуре более 800°С можно использовать для получения водорода без электричества, только с помощью тепла. Как ВПЭ, так и ядерный термолиз все еще находятся в стадии исследований и разработок [5].

## **ММР в России**

После начала промышленной эксплуатации первой в своём роде плавучей атомной электростанции «Академик Ломоносов» с реактором КЛТ-40С «Росатом» стал работать над развитием следующих поколений ММР – реактора РИТМ-200, предназначенного для плавучих АЭС, и реакторов РИТМ-200Н, РИТМ-400 и Шельф-М, предназначенных для наземного использования, серийное производство которых может начаться к 2030 году.

В заключение, малые модульные реакторы представляют собой многообещающее развитие технологий ядерной энергетики. Их характеристики безопасности, экономичность и универсальность делают их привлекательным вариантом для решения различных энергетических задач. Ожидается, что по мере дальнейшего развития роль ММР в мировой энергетике будет расти, предлагая устойчивое и эффективное решение для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию.

## **Источники**

1. Малые реакторы с большим потенциалом // Международное агентство по атомной энергии. 2020. URL: <https://www.iaea.org/ru/bulletin/malye-reaktory-s-bolshim-potencialom> (дата обращения: 15.02.2024).

2. Малые модульные реакторы: проблемы и перспективы [Электронный ресурс] // Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». 2021. URL: [https://rosatom.ru/upload/docs/Small\\_Modular\\_Reactors.pdf](https://rosatom.ru/upload/docs/Small_Modular_Reactors.pdf) (дата обращения: 15.02.2024).

3. Small Nuclear Power Reactors // World Nuclear Association. 2024. URL: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx> (дата обращения: 15.02.2024).

4. Что такое малые модульные реакторы (ММР)? // Международное агентство по атомной энергии. 2021. URL: <https://www.iaea.org/ru/newscenter/news/что-такое-малые-модульные-реакторы-ммр> (дата обращения: 15.02.2024).

5. Small nuclear reactors and where to use them [Электронный ресурс] // Energiforsk AB. 2019. URL: <https://energiforsk.se/media/27323/small-nuclear-reactors-and-where-to-use-them.pdf> (дата обращения: 15.02.2024).

УДК 004.942

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИНИМИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ НИЗКОСОРТНОГО ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОТЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ ANSYS CHEMKIN**

Валиуллина Елизавета Станиславовна

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Малик Гарифович Зиганшин

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

[elizavetazheltukhina@ya.ru](mailto:elizavetazheltukhina@ya.ru)

В работе описаны ключевые функции специализированного программного модуля ANSYS Chemkin для моделирования химических процессов. Рассмотрены исходные данные, необходимые для работы модуля, возможности моделирования систем с разным количеством компонентов и зависимость точности результатов расчетов от введенных параметров. Представлена информация об необходимом инструментарии и оборудовании для выполнения верификации результатов программы ANSYS Chemkin при численном моделировании процесса термической обработки твердых коммунальных отходов.

**Ключевые слова:** ANSYS Chemkin, численная модель, термическая обработка, твердые коммунальные отходы, моделирование, сжигание.

# MODELING THE PROCESS OF MINIMIZING EMISSIONS DURING THE COMBUSTION OF LOW-GRADE FUEL IN AN ENERGY BOILER USING ANSYS CHEMKIN SOFTWARE

Valiullina Elizaveta S.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

elizavetazheltukhina@ya.ru

The paper describes the key functions of the specialized software module ANSYS Chemkin for modeling complex chemical processes. It covers the input data required for the module to function, the modeling capabilities of systems with varying numbers of components, and the dependence of calculation accuracy on the input parameters. Information is provided on the necessary tools and equipment for verifying the results of the ANSYS Chemkin program when creating a numerical model of thermal treatment of solid municipal waste.

**Keywords:** ANSYS Chemkin, numerical modeling, thermal treatment, solid municipal waste, modeling, incineration.

Программное обеспечение ANSYS Chemkin используется для моделирования и анализа кинетики химических реакций в системах, где происходят процессы горения, детонации, катализа и некоторые другие процессы [1]. Программа широко применяется в инженерных и научных исследованиях, где важно понимание кинетики химических превращений. Поэтому ANSYS Chemkin является на сегодня наиболее детальным инструментом для численного моделирования сложных химических процессов, протекающих при сжигании твердых коммунальных отходов. ANSYS Chemkin позволяет моделировать реакции сжигания при различных температурах, давлениях, составах смесей, что отражается на скоростях реакций. Полученные с помощью данного модуля результаты позволяют анализировать влияние различных параметров на образование тех или иных компонентов продуктов сгорания, исходя из чего можно разрабатывать стратегии по минимизации попадания в них высокотоксичных соединений [2].

При сжигании твердых коммунальных отходов с купированием формирования высокотоксичных соединений [3] можно использовать результаты численного моделирования с помощью ANSYS Chemkin для оптимизации процесса сжигания или разработки новых методов переработки отходов.



Для использования программы ANSYS Chemkin требуются следующие исходные данные: химическая кинетика реакций, которая включает в себя информацию о скоростях реакций, механизмах реакций и константах скорости; химический состав смеси (данные о начальных концентрациях реагентов и продуктов реакции); термодинамические свойства (данные о теплоемкостях, энтальпиях и энтропиях реагентов и продуктов реакции); геометрия реакционной системы; условия окружающей среды; информация о процессе сгорания, включая данные по общему количеству, скорости подачи топлива, способу сжигания и др.

Программа ANSYS Chemkin предоставляет возможности для моделирования реакций с разным числом компонентов. Она может обрабатывать реакции, начиная от относительно простых одно- и двухкомпонентных систем до сложных многокомпонентных смесей.

Для верификации результатов программы ANSYS Chemkin при создании численной модели термической обработки твердых коммунальных отходов [4], состоящих преимущественно из органических соединений, обеспечивающей предотвращение высокотоксичных выбросов с индикацией по тетрадиоксину, потребуется следующий инструментарий и оборудование: газовый хроматограф (для анализа состава газовых выбросов, включая тетрадиоксин), масс-спектрометр и высокотемпературная печь. Однако для работы с тетрадиоксином, ввиду его высокой токсичности, требуются специальные разрешения, обучение и средства индивидуальной защиты. Так как работа с подобными веществами должна проводиться только в специализированных лабораториях, имеющих соответствующие лицензии, для экспериментов в дальнейшем будут использоваться нетоксичные вещества, например, имеющий сходную с диоксинами структуру высокотемпературный органический теплоноситель дифенилоксид ( $C_6H_5$ )<sub>2</sub>O.

Таким образом, использование программы ANSYS Chemkin для численного анализа сжигания твердых коммунальных отходов с минимизацией образования высокотоксичных соединений является на сегодня наиболее надежной основой для разработки способов устойчивого управления твердыми коммунальными отходами.

## Источники

1. Izato Y., Shiota K., Miyake A. A detailed mechanism for the initial hypergolic reaction in liquid hydrazine/nitrogen tetroxide mixtures based on

quantum chemistry calculations // Combustion and Flame. 2021. Vol. 229. 111389.

2. Mashruk S., Okafor E.C., Kovaleva M., Alnasif A., Pugh D., Hayakawa A., Valera-Medina A. Evolution of N<sub>2</sub>O production at lean combustion condition in NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>/air premixed swirling flames // Combustion and Flame. 2022, Vol. 244. 112299

3. Зиганшин М.Г. Методика оценки эффективности генерации на тепловых электрических станциях с учетом выброса загрязнителей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 6. С. 29-38.

4. Zheltukhina E.S., Ziganshin M.G. Numerical modeling of solid and gaseous fuel combustion in the TP-14A boiler furnace to reduce PCDD / F and greenhouse gas emissions into the atmosphere // Rocznik Ochrona Środowiska. 2021. V 23. P. 503-512.

УДК 661.961

## **ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА. КОНСТРУКЦИИ, МАТЕРИАЛЫ**

Вафина Элина Аиратовна

Науч. рук. док. техн. наук, доцент Филимонова Антонина Андреевна

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

Elino4ka0914@mail.ru

Статья посвящена электролизерам в процессе получения водорода. В ней рассматриваются различные конструкции и материалы, используемые в данной технологии. Анализируются основные принципы работы электролизеров, их преимущества и недостатки. Особое внимание уделяется выбору оптимальных материалов для электродов и электролита с целью повышения эффективности и долговечности процесса электролиза.

**Ключевые слова:** водород, электролизеры, анод, катод, технология, мембрана, эффективность.

## **ELECTROLYSERS FOR HYDROGEN PRODUCTION. CONSTRUCTIONS, MATERIALS**

Vafina Elina A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

The article is devoted to electrolyzers in the process of producing hydrogen. It examines the various designs and materials used in this technology. The basic principles of operation of electrolyzers, their advantages and disadvantages are analyzed. Particular attention is paid to the selection of optimal materials for electrodes and electrolyte in order to increase the efficiency and durability of the electrolysis process.

**Keywords:** hydrogen, electrolyzers, anode, cathode, technology, membrane, efficiency.

Электролиз воды является одной из ключевых технологий для получения чистого водорода. Он позволяет преобразовывать воду в водород и кислород, используя электрическую энергию. Электролиз основан на применении электролизеров, которые могут быть различных конструкций и изготовлены из различных материалов.

Одним из наиболее распространенных типов электролизеров является щелочной электролизер. Щелочной электролизер – это устройство, используемое для разложения воды на составляющие ее элементы, а именно на водород ( $H_2$ ) и кислород ( $O_2$ ) в присутствии щелочного электролита [1].

Основной принцип работы щелочного электролизера заключается в применении постоянного электрического тока, который пропускается через электролит, состоящий из щелочи – обычно это гидроксид натрия ( $NaOH$ ). При электролизе вода разлагается на ионы водорода и гидроксидные ионы ( $OH^-$ ) на аноде и отрицательно заряженные гидроксидные ионы в сочетании с ионами натрия на катоде.

Один из главных преимуществ щелочного электролизера – высокий коэффициент использования энергии. Процесс электролиза в щелочном электролизере энергетически эффективен, и даже при существующих потерях энергии обеспечивает высокую экономичность производства.

Однако щелочной электролизер имеет и некоторые недостатки. Главным из них является его высокая чувствительность к загрязнениям и примесям, присутствующим в воде. Для достижения высокой степени очистки электролита необходимо применение сложных методов обработки и подготовки воды.

Одним из наиболее распространенных материалов, используемых в щелочных электролизерах, является никелевая сталь. Этот материал обладает высокой стойкостью к щелочным растворам и обеспечивает эффективную работу в условиях высоких температур и давления, что

способствует повышению производительности электролизера. Кроме того, никелевая сталь имеет хорошую коррозионную стойкость и устойчивость к механическим повреждениям [2].

Помимо щелочных электролизеров, существуют также электролизеры с полимерными обменными мембранами (РЕМ) - это инновационные устройства, которые открывают широчайшие перспективы в области производства водорода. Электролизеры с РЕМ используют полимерные обменные мембраны в качестве электролита. Эти мембраны обеспечивают высокую производительность и эффективность процесса электролиза, позволяя достигать высокой концентрации водорода и устраняя необходимость в использовании разреженных структурных материалов.

Применение электролизеров с РЕМ имеет ряд практических преимуществ. Они компактны и легки в установке, что делает их идеальными для мобильных и автономных систем [3]. Кроме того, они обладают высоким быстрым откликом и могут быть запущены и остановлены в течение короткого времени.

Одним из наиболее распространенных материалов для полимерных обменных мембран является перфторсульфоновая кислота (ПФСК). Она обладает высокой прочностью и стабильностью в широком диапазоне температур и давлений. ПФСК мембрана обеспечивает эффективное разделение анионов и катионов, что обуславливает высокую эффективность электролизера.

Также распространенным материалом для полимерных обменных мембран является полимер на основе перфторовинилэфира (PVDF) [4]. Этот материал отличается высокой химической стойкостью и хорошей электропроводимостью.

К основным преимуществам можно отнести высокую стабильность и долговечность материалов, а также их химическую инертность. Однако полимерные обменные мембраны имеют и некоторые недостатки. Один из них связан с их проницаемостью для газов. Полимерные мембраны могут пропускать некоторое количество водорода через себя, что может снижать эффективность процесса [5].

Другой важной технологией получения водорода является высокотемпературный электролиз. Одним из ключевых элементов высокотемпературного электролиза является электролит. В данной технологии широко применяются керамические электролиты, такие как оксиды циркония и гадолиния. Эти материалы обладают высокой термической стабильностью и химической инертностью, что позволяет им

прекрасно справляться с высокими температурами, возникающими в процессе.

Высокотемпературный электролиз водорода имеет несколько преимуществ перед традиционным низкотемпературным электролизом. Во-первых, температура электролиза в данной технологии значительно выше (около 800-1000°C), что позволяет достичь более высокой эффективности и скорости процесса. Во-вторых, высокая температура позволяет разложить воду на водород и кислород гораздо проще, так как требуется меньшее количество энергии для преодоления энергетического барьера.

В заключение, выбор конструкции и материалов электролизеров получения водорода является важным аспектом их эффективности и надежности. Разработчики и исследователи в этой области постоянно стремятся к улучшению электролизной технологии и находят новые материалы и конструкции, чтобы обеспечить более эффективное получение водорода.

### **Источники**

1. Гольдштейн А.Б., Серебрянский Ф.З. Эксплуатация электролизных установок для получения водорода и кислорода. — М.: Издательство «Наука», 1969, с. 45-51.

2. Александров Ю.В., Гельберг А.А., Кравчиков А.В. Электролиз воды и его промышленное применение. — СПб.: Издательство «Астраханская Издательская Компания», 2012, с. 586-594.

3. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике, 2014, с. 187-215.

4. Демидов Н.Н., Ишкеев Р.И. Анализ и классификация материалов электродов для электролизеров. // Журнал физической химии, 2015, т. 89, № 9, с. 1205-1212.

5. Кузин Н.И., Завьяловский В.А., Крылов П.В. Разработка электролизеров для получения водорода из воды морских акваторий. // Морская энергетика, 2017, № 2, с. 73-81.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С ВАКУУМНЫМИ ТРУБЧАТЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ

Волков Никита Олегович<sup>1</sup>, Базин Дмитрий Александрович<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>volkovnikita966@gmail.ru, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

В статье изучается принцип действия и конструкция солнечной опреснительной установки с вакуумными солнечными коллекторами. Рассматриваются положительные и отрицательные стороны таких установок. Предоставляется общая имитационная модель опреснительной установки.

**Ключевые слова:** вакуумный трубчатый коллектор, солнечная опреснительная установка, опреснение морской воды.

## INVESTIGATION OF SOLAR DESALINATION PLANTS WITH VACUUM TUBE COLLECTORS

Volkov Nikita O.<sup>1</sup>, Bazin Dmitry A.<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>volkovnikita966@gmail.ru, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

The article examines the principle of operation and design of a solar desalination plant with vacuum solar collectors. The positive and negative sides of such installations are considered. A general simulation model of the desalination plant is provided.

**Keywords:** vacuum tube collector, solar desalination plant, seawater desalination.

Вода является связующим элементом всех живых организмов на нашей планете. Рост населения, увеличение производственных мощностей, требующих затрат водных ресурсов, загрязнение окружающей среды — все это оказывает влияние как на количество запасов водных ресурсов, так и на рост их потребления. Одним из способов, содействующих решению этой проблемы, является создание опреснительных установок, работающих на альтернативных источниках энергии. Важно заметить, что зачастую, страны, имеющие дефицит пресной воды, находятся в районах с высокой солнечной активностью и длинной береговой морской линией [1].

Солнечная опреснительная установка представляет собой совокупность солнечного коллектора и испарительных поверхностей. На рисунке 1 изображен общий вид опреснительной установки. Принцип работы у опреснительной установки данного типа довольно прост. Солнечные лучи попадают на солнечный коллектор (8). Медная трубка, содержащая внутри себя эфирный состав, нагревается и передает ему свое тепло. Эфир закипает и испаряется. Теплообмен между трубкой и окружающей средой практически отсутствует: в пространстве стеклянной трубочки создан вакуум. Полученные пары эфиров поднимаются вверх по теплообменнику (5) и конденсируются. Образовавшийся конденсат стекает вниз и повторяет процесс. Насосы способствуют созданию циркуляции теплоносителя. Через трубопровод соленой воды (1) подается опресняемая жидкость. Она проходит через теплообменник (2) и попадает на распылитель (3), который распыливает ее на теплообменник, получая выпар. Этот поток пара, направляется вентилятором (4) на теплообменник (2), который способствует процессу его конденсации, стекания и сбора в емкости дистиллята. Часть воды, которая не выпарилась на теплообменнике 5, стекает вниз и испаряется электрическим нагревателем (6).

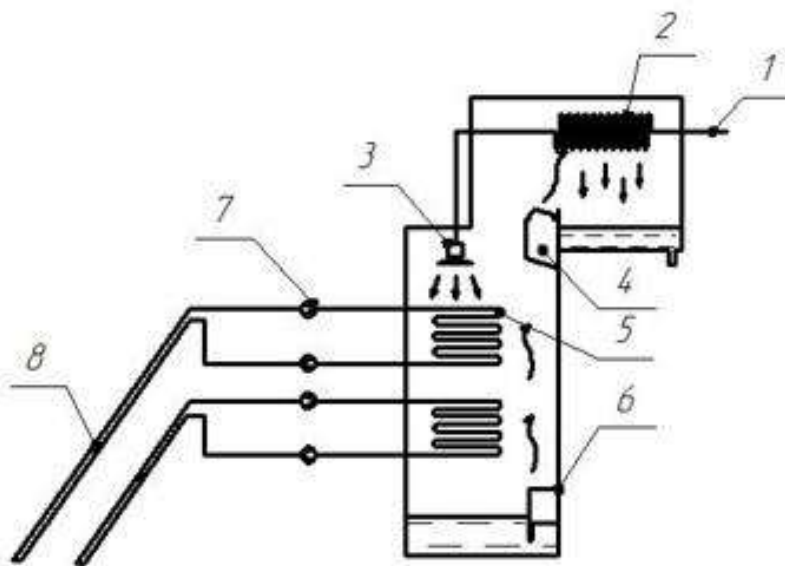


Рис. 1. Общий вид опреснительной установки

Данная схема довольно проста по принципу работы. Достоинствами является отсутствие большого количества электрических элементов и независимость от топлива (за исключением электронагревателя). Но

данная схема не лишена недостатков — себестоимость произведенной воды довольно высока, а низкая надежность, необходимость иметь оперативный персонал и потребность в высокой солнечной активности останавливают повсеместное распространение данного агрегата. Тем не менее, если добиться увеличения производительности установки, то себестоимость производства воды будет уменьшаться. [2]

Применение таких установок в России крайне ограничено. На рисунке 2 показана солнечная инсоляция на территории России. Регионы, обладающие наибольшими производственными мощностями, находятся в умеренном климате. Данная система может найти применение в регионах юга России и Дальнего Востока. [3]

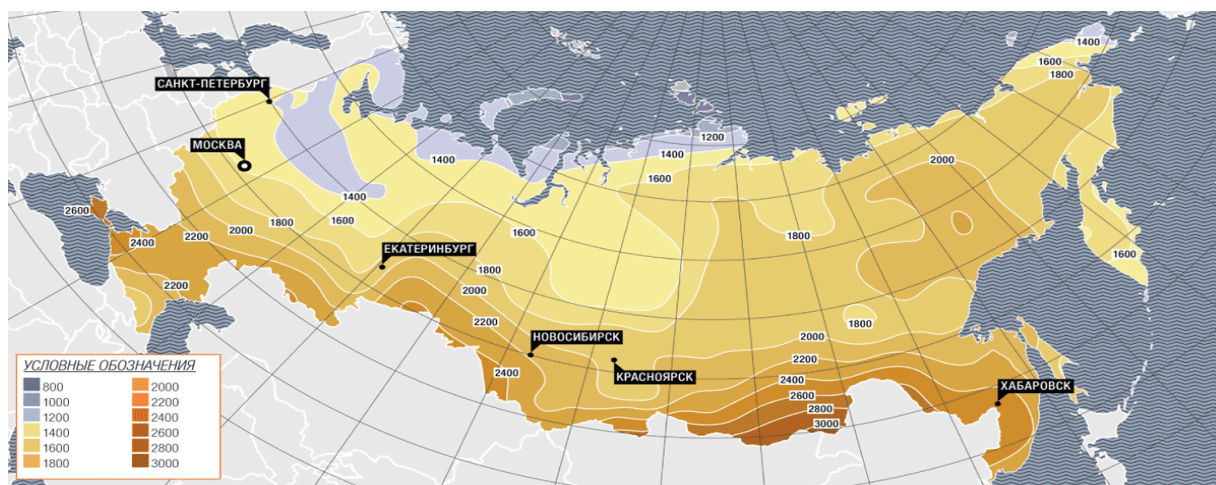


Рис. 2. Солнечная инсоляция на территории России

Для умеренного климата следует изменить конструкцию солнечных опреснителей: убрать теплообменник (5), чтобы пар эфиров отдавал свое тепло напрямую соленой воде через стенки медной трубки. Такую схему, в отличие от предыдущей отличает надежность и простота конструкции. К тому же она сможет найти куда большее применение в России, нежели предыдущий вариант [2].

## Источники

1. Mohammad .J.R.Abdunnabi, Abdulghani .M.Ramadan. Simulation Study of the Thermal Performance of MSF Desalination Unit Operating by Solar Vacuum Tube Collectors. 2015.



2. Рахматулин Ильдар Рафикович. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С СИСТЕМОЙ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ. 2015.

3. Естественное освещение, виды, нормы и применение [Электронный ресурс] <https://m-focus.ru/estestvennoe-osveschenie-vidy-normy-i-primeneniye/> (дата обращения: 23.02.24).

УДК 621.311

## ИННОВАЦИОННАЯ ГИБРИДНАЯ УСТАНОВКА ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ В ЭНЕРГИЮ — ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ ЖЕЛОБНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ

Волков Никита Олегович<sup>1</sup>, Базин Дмитрий Александрович<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>volkovnikita966@gmail.ru, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

В статье изучен принцип действия и конструкция гибридной установки с солнечными коллекторами желобного типа. Предоставлены схемы, поясняющие принцип работы этих установок.

**Ключевые слова:** желобная установка, испаритель мгновенного вскипания, опреснение морской воды.

## INNOVATIVE HYBRID WASTE TO ENERGY PLANT — PARABOLIC TROUGH PLANT FOR ELECTRICITY PRODUCTION AND DESALINATION

Volkov Nikita O.<sup>1</sup>, Bazin Dmitry A.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>volkovnikita966@gmail.ru, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

The article examines the operating principle and design of a hybrid installation with trough-type solar collectors. Diagrams are provided that explain the operating principle of these installations.

**Keywords:** trough plant, flash evaporator, seawater desalination.

На протяжении современной истории человечества происходит рост потребления электрической энергии. Но параллельно этому идет наращивание энергетического потенциала, требующего для своей работы все большее количество топлива и водных ресурсов. В будущем энергетика столкнется с нехваткой топливного сырья, а недостаток пресной воды уже является проблемой не отдельных регионов, а целого ряда стран Африки, Ближнего Востока, Азии. Строительство гибридных опреснительных установок является одним из возможных способов к решению этой глобальной проблемы.

Гибридная установка представляет собой комплекс по сжиганию отходов с выходом электрической энергии и получением опресненной воды. Топливом для нее служат либо мелкие фракции твердого топлива, либо результат переработки органических отходов — биогаз. Получаемый в котле пар идет на турбину. Отборы из турбины идут на деаэратор и на многоступенчатую испарительную установку мгновенного вскипания. Пар из турбины попадает в конденсатор, затем вода подается в деаэратор для удаления из нее  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ . Два потока воды — из дренажа испарительной установки и деаэратора попадает в смеситель, а после него в теплообменный аппарат, связанный трубной системой с солнечными параболическими панелями. Нагретая вода идет в котел, где цикл повторяется [1].

Отходы сжигаются в специальных котлах, уходящие газы идут в парогенератор (ПГ), преобразуя воду в пар. Теплообменный аппарат (ТО) по назначению является экономайзером, но с тем отличием, что греет воду не теплом уходящих газов, а теплом от теплоносителя (например, термомасла с температурой около  $400^\circ \text{C}$ ). Отдав свое тепло, масло возвращается в систему солнечных коллекторов желобного типа (2). Нагревается и снова идет в ТО. На рисунке 1 представлена принципиальная схема гибридной установки.

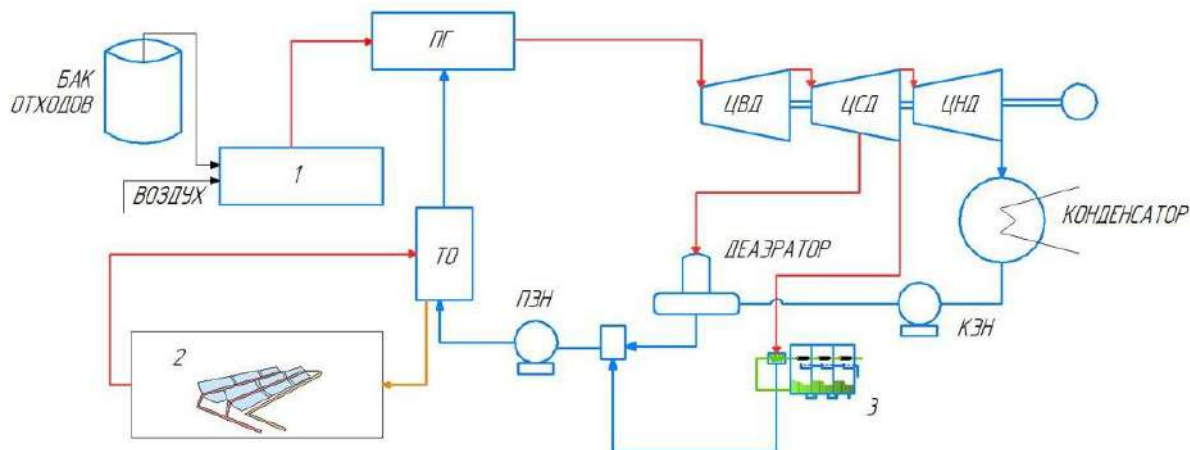


Рис. 1. Общий вид гибридной установки по переработке отходов

Вода, которая должна быть обессолена, поступает в испаритель мгновенного вскипания (ИМВ). Вода заходит в трубчатые теплообменники, которые служат для нагрева воды и конденсации паров. Затем вода поступает в охладитель пара, в котором она нагревается до 112° С. Попадая в отсек с разреженным воздухом, часть воды вскипает и испаряется, а остальная идет в следующие отсеки (всего таких отсеков может быть до 16). Пары движутся вверх на трубчатые теплообменники, соприкасаясь с ними, пары конденсируются, стекая в баки с дистиллятом. В последнем отсеке происходит удаления соляного раствора. Во всех отсеках необходимо поддерживать определенное разрежение воздуха, чтобы была возможность мгновенного вскипания воды. На рисунке 2 изображена система опреснения воды в испарителе мгновенного вскипания [2].

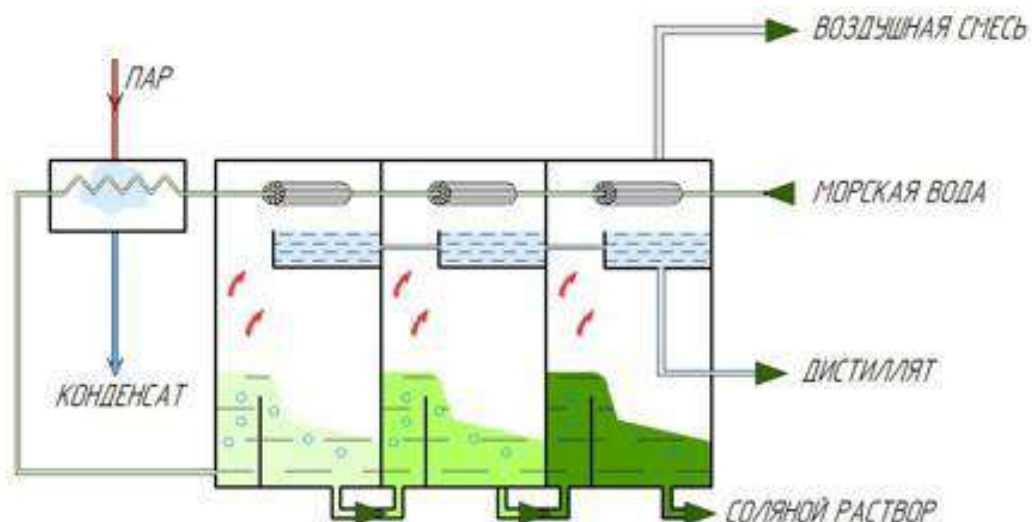


Рис. 2. Принципиальная схема ИМВ

В России много труднодоступных районов, которые испытывают проблемы с электроэнергией, ГВС и ХВС. Подобная гибридная установка может найти свое применение в России. Она выгодна региональным представителям ввиду уменьшения государственных субсидий на запитывание труднодоступных районов электроэнергией и местным жителям, не зависящих от централизованных линий передачи электроэнергии. Вследствие этого, будет заметно снижена себестоимость электрической энергии для жителей таких районов [3].

### Источники

1. Qahtan Thabit, Nassour Abdallah, Michael Nelles. Innovative hybrid waste to energy–parabolic trough plant for power generation and water desalination in the Middle East North Africa region: Jordan as a case study. 2022.
2. Dr. Christoph Richter, Sven Teske, Rebecca Short. Sauberer Strom aus den Wüsten. 2009.
3. Огунлана Айоделе Олударе. Перспективы применения гибридных установок (на основе возобновляемых источников энергии) в малой энергетике России. 2017.

## О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ УСТОЙЧИВОГО ФОНТАНИРУЮЩЕГО СЛОЯ

Вьюгова Ксения Дмитриевна

Науч. рук. д-р техн.наук, проф. Зиганшин Малик Гарифович

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

vjugova.k@yandex.ru

В статье рассмотрены способы газификации угля, в том числе, в режиме фонтанирующего слоя. Выявлены основные характеристики, влияющие на устойчивость фонтанирования, а также проведен их краткий анализ, с целью последующего использования при организации натурного эксперимента.

**Ключевые слова:** газификация, фонтанирующий слой, низкоуглеродная энергетика

## ON THE MECHANISM OF FORMATION OF A STABLE SPOUTING BED

Vyugova Ksenia D.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vjugova.k@yandex.ru

The article considers methods of coal gasification, among which are fountaining bed. The main characteristics affecting the stability of spouting are revealed, and their brief analysis is carried out, with the purpose of subsequent use in the organisation of full-scale experiment.

**Key words:** gasification, spouting bed, low-carbon energy

Исследования эффективности различных способов сжигания угля в России начались с 19 века, где довольно широкое распространение получила его газификация. Первое, достаточно радикальное направление – подземная газификация, было предложено еще Д.И. Менделеевым. Позднее начала развиваться и внутрицикловая газификация (ВЦГ).

ВЦГ может быть организована в неподвижном слое, в псевдооживленном слое или в пылеугольном потоке. Наиболее предпочтительной является ВЦГ в псевдооживленном слое, ввиду лучших показателей продуктов газификации и соответствия показателям

низкоуглеродной энергетики [1]. Однако серьезным конструктивным недостатком такого способа является вынос из слоя несгоревших частиц угля. На практике данная проблема решается установкой возвратного циклона или же дополнительной подачей горизонтального потока воздуха над слоем (для котлов малой мощности). Однако эти способы имеют также свои характерные недостатки.

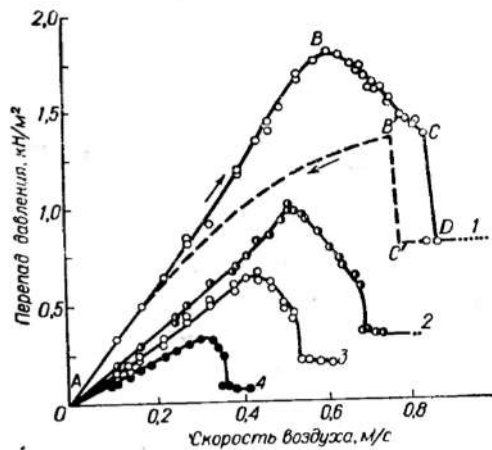
Наиболее оптимальным решением, в вопросах предотвращающим зашлакование, истирание экранных и конвективных поверхностей топки с циркулирующем кипящим слоем (ЦКС), является организация фонтанирующего слоя [2].

Механизм развития устойчивого фонтанирующего слоя тесно коррелирует с рядом факторов, несоблюдение которых приводит к хаотичному характеру движения твердых частиц, ввиду чего увеличивается расход газа, возникает риск развития неоднородного псевдооживления и других факторов, препятствующих полному сгоранию частиц.

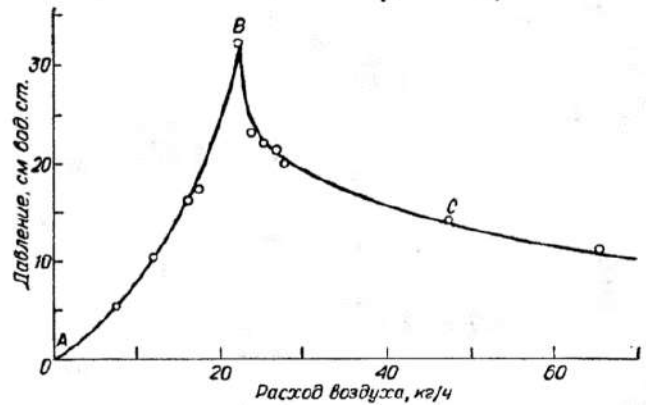
Гидродинамические особенности фонтанирующего слоя в первую очередь зависят от геометрических особенностей топочной камеры – цилиндро-конических устройств с конической частью типа диффузора, а также от устройства входного отверстия для газа.

Так, например, Романковым и Рашковской [3] было установлено, что отношение диаметра входного отверстия к диаметру аппарата зависит от числа Архимеда, а Беккер, в свою очередь, предположил, что критическая величина отношений диаметров равна 0,35. [4]

Помимо вышеперечисленных особенностей, устойчивость циркуляции твердых полидисперсных частиц коррелирует с аэродинамическими характеристиками газа (скорость и расход) (см. рисунок) [5].



а)



б)

а – кривые зависимости перепада давления от скорости воздуха: 1 – 30 м/с, 2 – 20 м/с, 3 – 15 м/с; 4 – 10 м/с; б – среднее значение статистического давления от расхода воздуха через входное отверстие

Подводя итоги, следует отметить, что изучение механизма развития фонтанирующего слоя представляется целесообразным с помощью численного (например, средствами программного обеспечения Ansys Fluent) и натурального эксперимента. В этом случае численное моделирование используется в качестве инструмента исследования полномасштабной модели топочной камеры, а натуральный эксперимент необходим для валидации результатов численного эксперимента и проводится на модели уменьшенного размера.

### Источники

1. Майстренко А.Ю., Дудник А.Н., Яцкевич С.В. Технологии газификации углей для парогазовых установок. – Киев, Общество "Знание" Украины, 1993. – 72 с.
2. Матур, К., Эпстайн, Н. Фонтанирующий слой. – Л.: Химия, 1978. – 288 с.
3. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1968. – 360 с.
4. Becker H. A. An investigation of laws governing the spouting of coarse particles // Chemical Engineering Science. – 1961. – Т. 13. – №. 4. – С. 245-262.
5. Чичирова Н. Д., Зиганшин М. Г. ФОНТАНИРУЮЩИЙ СЛОЙ В ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССАХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА ТЭС. ЧАСТЬ 2. СЖИГАНИЕ ТВЕРДОГО

УДК 620.9

## ПАРАМЕТРЫ ОПТИМИЗАЦИИ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ТОТЭ - МГТ

Гайнутдинов Фарит Ринатович

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Чичиров Андрей Александрович

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

ЕВККК@yandex.ru

В статье исследуется совместное использование и твердооксидного топливного элемента (ТОТЭ) и микрогазовой турбины (МГТ). Рассмотрены параметры оптимизации производительности гибридной конфигурации, их мониторинг и предотвращение ситуаций риска.

**Ключевые слова:** гибридная энергоустановка, твердооксидный топливный элемент, микрогазовая турбина, эмуляторы, энергоэффективность.

## OPTIMIZATION PARAMETERS OF THE HYBRID SYSTEM SOFC – MGT

Gainutdinov Farit R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ЕВККК@yandex.ru

The article investigates the combined use of a Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) and a Micro Gas Turbine (MGT). The optimization parameters of the hybrid configuration's performance, their monitoring, and the prevention of risk situations are considered..

**Keywords:** hybrid power plant, solid oxide fuel cell, micro gas turbine, emulators, energy efficiency.

На протяжении нескольких десятилетий наблюдается устойчивая корреляция между энергоэффективностью и снижением воздействия на окружающую среду от использования гибридных энергетических систем. Гибридные системы ТОТЭ - МГТ – проверенная экологически чистая, бесшумная и эффективная стационарная энергетическая технология, пригодная для широкого спектра применений, таких как домашнее



хозяйство, коммерческий сектор и транспорт. Затраты на их внедрение для производства энергии могут быть снижены за счет ее чистой электрической эффективности, поэтому изучение этого вопроса является актуальным.

Коммерчески доступные МГТ мощностью от 30 до 100 кВт интегрированные с ТОТЭ и описаны в литературе [1]. Одна из упрощенных схем гибридной системы проиллюстрирована на рисунке. Компрессор обычно нагнетает всасываемый воздух до рабочего давления топливного элемента. Сжатый воздух сначала пропускается через рекуператор; поступает на катодную сторону топливного элемента и, следовательно, участвует в электрохимическом процессе. На сторону анода поступает предварительно нагретое и сжатое топливо для первоначального риформинга и последующего участия в реакционном процессе для выработки электроэнергии. Выхлопные газы поступают в отсеки турбины для обеспечения механической мощности на валу.

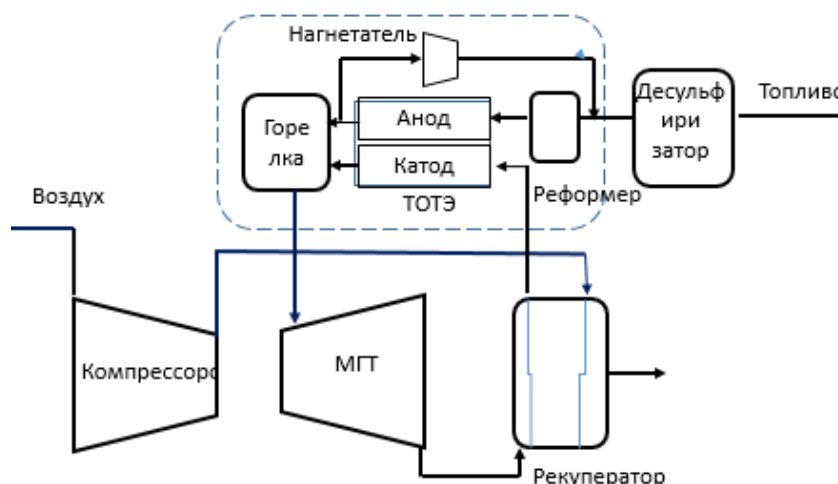


Схема гибридной системы ТОТЭ - МГТ

В литературе помимо полноценных экспериментальных установок для испытаний, рассмотрены разработанные гибридные эмуляторы ТОТЭ - МГТ, которые состоят из реальной МГТ в сочетании с имитатором топливных элементов большого объема [2]. Эмуляторы – имитируют функционирование систем, позволяют лучше воспринимать динамику, интеграцию и проблемы управления гибридной системой без риска повреждения дорогостоящих компонентов в ходе экспериментов.

Гибридные ТОТЭ - МГТ работают в двух режимах: 1) автономно; 2) интегрировано с возобновляемыми источниками энергии для

распределенной выработки электроэнергии. В автономном режиме выполняются операции без проектной нагрузки и с частичной нагрузкой для удовлетворения потребителей. Температурные градиенты в высокотемпературных ТОТЭ могут приводить к неизбежным переходным процессам. В связи с этим система подвергается сложной нелинейной динамике. Частое переключение нагрузки вызывает серьезные опасения по поводу системы управления, безопасности и безотказности гибридной системы.

Безаварийная работа достигается за счет ограничения различных параметров. В этом контексте изучение переходных характеристик гибридных систем ТОТЭ - МГТ становится незаменимым. Системы, интегрированные с переменным сопротивлением, должны справляться с резкими изменениями нагрузки для поддержания устойчивости сети.

Мониторинг и предотвращение ситуаций риска, связанных с производительностью и безопасностью гибридной системы включает в себя отслеживаемые параметры: 1) недопустимую температуру в ТОТЭ, что может повредить элемент или снизить его эффективность; 2) недопустимую разницу давлений между катодной и анодной секциями; 3) чрезмерную частоту вращения ротора МГТ, приводящую к механическим повреждениям или сбоям в работе; 4) помпаж компрессора, при котором устройство перестает эффективно сжимать газ, что может привести к вибрации, повреждению оборудования и снижению эффективности; 5) избыточное тепло в теплообменнике, приводящее к перегреву и снижению эффективности работы установки. Критические параметры необходимо отслеживать и контролировать во время запуска, остановки и быстрого переключения нагрузки.

Разработка системы управления представляет собой самую большую проблему из-за значительно отличающихся временных масштабов переходных процессов, связанных с двумя различными энергетическими системами, то есть ТОТЭ и МГТ. Следовательно, экспериментальные прототипы, основанные на исследованиях переходных процессов, имеют решающее значение для коммерциализации технологии. Необходимы дополнительные исследования важнейших параметров, включая анализ затрат и оценку жизненного цикла.

## **Источники**

1. Романов И.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А. Развитие энергетических установок на основе твердооксидных топливных

элементов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10-1. – С. 38-42.

2. Muhammad Baqir Hashmi, Mohammad Mansouri, Mohsen Assadi, Dynamic performance and control strategies of micro gas turbines: State-of-the-art review, methods, and technologies // Energy Conversion and Management. 2023. – V. 18. – P. 100376.

УДК 622.691

## **ОБЗОР ПРОЕКТИРУЕМЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ С ГТД ДЛЯ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Галяутдинов Руслан Маратович

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Сайтов Станислав Радикович

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

ryslik\_0101@mail.ru

Газоперекачивающая отрасль имеет важное значение в РФ. В статье рассмотрены особенности отрасли, её основные проблемы, принцип работы компрессорных станций.

**Ключевые слова:** компрессор, природный газ, газоперекачивающая станция, месторождение, магистральный газопровод.

## **OVERVIEW OF DESIGNED COMPRESSOR STATIONS WITH GTE FOR NATURAL GAS PRODUCTION AND TRANSPORTATION**

Galyautdinov Ruslan M.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ryslik\_0101@mail.ru

The gas pumping industry is important in the Russian Federation. The article discusses the features of the industry, its main problems, and the operating principle of compressor stations.

**Key words:** compressor, natural gas, gas pumping station, field, main gas pipeline.

Согласно «Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года» газоперекачивающая отрасль будет активно развиваться в рамках освоения новых месторождений газа на полуострове Ямал, в восточной Сибири, а также новых проектируемых газоперекачивающих станций [1].

Основные месторождения природного газа в Российской Федерации расположены на достаточно удаленном расстоянии от потребителя. Подача газа до потребителя осуществляется газопроводом, что, несомненно, сопровождается потерями давления транспортируемого газа [1]. С целью решения данной проблемы необходимо строительство компрессорных станций (КС) с газоперекачивающими агрегатами (ГПА).

Существуют компрессорные станции следующих видов: головные; линейные, дожимные [2].

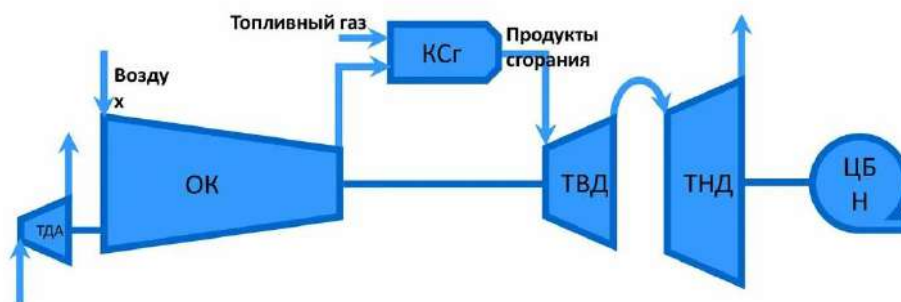
Головные станции устанавливаются непосредственно на месторождении природного газа, в тех ситуациях, когда пластового давления газа недостаточно для поддержания требуемого давления в магистрали.

Линейные станции предназначены для стабилизации параметров газа на участке всего пути между потребителем и месторождением.

Дожимные станции предназначены для закачки газа в подземные газохранилища и его дальнейшего отбора.

На КС происходят следующие процессы: прием газа из магистрального газопровода или месторождения, его дальнейшая осушка и очистка, нагнетание природного газа до требуемых параметров давления, его дальнейшая передача в магистральный газопровод [2].

Повышение давления на компрессорной станции происходит за счет работы газотурбинного двигателя (ГТД) приводом которого является центробежный компрессор (ЦБК). Принципиальная схема работа газоперекачивающего агрегата приведена на рис. 1 [3].



Принципиальная схема работы ГПА

При работе компрессорной станции природный газ сжимается до 5,5–7,5 МПа и направляется дальше в магистральный газопровод. Для минимизации потерь газа через трубопровод линейные компрессорные

станции устанавливаются на расстоянии 150–200 км друг от друга на протяжении всего пути от месторождения до потребителя [3].

Основными потребителями газа внутри Российской Федерации являются важнейшие экономически-промышленные направления.

Для стабильности газоперекачивающей отрасли важна адаптивность имеющихся и проектируемых КС под требуемые параметры добываемого газа. Дело в том, что пластовое давление газа достаточно нестабильно. В зависимости от количества станций, расположенных на месторождении газа пластовое давление может падать [4].

Так же важным вопросом является экологическая проблема. Освоение новых месторождений газа оказывает негативное воздействие на окружающую среду – нарушается растительный и почвенный покров [5].

Освоение новых месторождений является важным фактором газоперекачивающей отрасли. Как отмечалось ранее, месторождения газа достаточно удалены от потребителя и как правило имеют неблагоприятные природно-климатические, геологические условия [5].

Основное потребление газа в РФ уходит на следующие важнейшие секторы: ТЭЦ, промышленность, отопление, коммунально-бытовые потребители.

Таким образом, стабильность газоперекачивающей отрасли несет глобальное влияние на промышленно-экономический комплекс Российской Федерации.

### **Источники**

1. Об энергетической стратегии РФ на период до 2035 г. Распоряжение Правительства Рос. Федерации от 9 июня 2020г. №1523-р
2. Коршак.А.А. Компрессорные станции магистральных газопроводов: учеб. пособие. Ростов н/Д: Феникс, 2016. - 157 с.
3. И.П.Канунников, С. Д. Стенгач, Б. А.Углов. Газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16: учеб. пособие Самара: гос. аэрокосм. ун-т, 2000. - 64с
4. Козаченко А.Н. Устройство и эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов: учеб. пособие. Москва: Нефть и газ, 1999. - 375с
5. В.А. Скоробогатов, С.Н. Сивков, С. А. Данилевский. Проблемы ресурсного обеспечения добычи природного газа в России до 2050 года //Научно-технический сборник «Вести газовой науки» 2013 №5(16) - 12с.

## ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

Гафиятуллин Денис Маратович

Науч. рук. к.х.н, доц. Сироткина Лилия Витальевна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
denisgaff0613@mail.ru

В настоящей работе рассмотрены основные способы хранения водорода, показаны их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** водород; хранение; водородные накопители энергии.

## TECHNOLOGIES OF HYDROGEN STORAGE

Gafiyatullin Denis M.

KSPEU, Kazan, Republick of Tatarstan  
denisgaff0613@mail.ru

In this article s discribe the main methods of hydrogen storage and shows their advantages and disadvantages.

**Keywords:** hydrogen; storage; hydrogen energy storage.

Водород находит широкое применение в различных областях промышленности, таких как, металлургия, транспорт, органический синтез [1]. Он имеет высокие эксплуатационные и технологические показатели, высокую теплоту сгорания, поэтому его рассматривают в качестве энергоносителя.

В данной работе анализируются различные методы хранения водорода, выделяются преимущества и недостатки каждого из них.

В литературных источниках [1-3] описаны различные методы и технологии хранения водорода. К ним относятся:

- хранение газообразного водорода при обычном и повышенном давлении в подземных хранилищах;
- хранение жидкого водорода;
- хранение водорода в виде гидридов;
- хранение водорода в носителях;
- хранение водорода в микросферах;
- хранение водорода в капиллярных структурах.

– хранение в графитовых наноструктурах.

При выборе метода хранения водорода следует учитывать его химические, физические, термодинамические свойства.

Водород хранится в емкостях с малым объемом под давлением до 10 Мпа из-за невысокой плотности газообразного водорода. Хранение водорода при более высоких давлениях приводит к водородной хрупкости стали и удорожания конструкций [2]. Масса баллонов, используемых для хранения водорода, является высокой по сравнению с массой помещенного в неё газа, поэтому этот способ хранения является невыгодным.

Жидкий водород имеет жесткие требования по хладостойкости, поэтому требуется постоянно поддерживать температуру [2], также необходимо учитывать его испарение [2].

Альтернативным способом хранения является метод с применением носителей различного типа (гидриды металлов, аланаты, борогидриды, амиды) и мультикапиллярных структур.

Приоритетными задачами освоения водородных технологий являются водородные и алюмо-водородные накопители энергии, которые позволят обеспечить надежность и экономичность электроэнергетических систем.

Учеными Научно-исследовательского института электрофизической аппаратуры (НИИЭФА) для хранения водорода разработаны безопасные твердотельные накопители, в которых водород в виде твердых гидридов металлов. Для металлгидридного метода хранения водорода характерны высокая компактность, безопасность, невысокие энергозатраты.

Водородные накопители обеспечивают стабильность работы альтернативных источников, снижают последствия неблагоприятного воздействия различных природных факторов (солнечный свет, порывы ветра). Кроме этого, данная технология позволит решить ряд сложнейших задач энергетики. Однако существующие финансовые трудности не позволяют разрабатывать водородные накопители в широком масштабе.

Таким образом, оптимальный метод хранения водорода отсутствует, однако, к наиболее эффективным методам можно отнести металлгидридный метод хранения водорода, который обладает рядом преимуществ – снижение энергозатрат, упрощение транспортировки, повышение безопасности хранения.

### **Источники**

1. Хохонов А.А., Шайхатдинов Ф.А., Бобровский В.А., Агарков Д.А., Бредихин С.И., Чичиров А.А., Рыбина Е.О. Технологии хранения

водорода. водородные накопители энергии // Успехи в химии и химической технологии. 2020. №12 (235). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-hraneniya-vodoroda-vodorodnye-nakopiteli-energii> (дата обращения: 28.02.2024).

2. Фатеев В.Н., Алексеева О.К., Коробцев С.В., Серегина Е.А., Фатеева Т.В., Григорьев А.С., Алиев А.Ш. Проблемы аккумуляирования и хранения водорода // Kimya Problemleri. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-akkumulirovaniya-i-hraneniya-vodoroda> (дата обращения: 28.02.2024).

3. Гайнутдинова Д.Ф. Водород в глобальной энергетической повестке. // Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Нефтекамск, 2022. С. 11-14.

УДК 697.34

## **СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ СЕТЯМИ**

Година Полина Владимировна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

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

[poliinator@yandex.ru](mailto:poliinator@yandex.ru)

Данная статья посвящена описанию систем оперативно-диспетчерского управления в тепловых сетях. Рассматриваются некоторые функциональные возможности систем таких как, мониторинг параметров сети, оптимизация распределения тепла и быструю реакцию на изменения в работе сети. Обсуждается важность развития устойчивых и современных систем теплоснабжения для удовлетворения потребностей современного общества.

**Ключевые слова:** тепловые сети, оперативно-диспетчерское управление, эффективность, оптимизация, энергетическая система.

## **OPERATIONAL DISPATCH CONTROL SYSTEMS IN HEATING NETWORKS**

Godina Polina V.,

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[poliinator@yandex.ru](mailto:poliinator@yandex.ru)



This article is devoted to the description of operational dispatch control systems in thermal networks. Some functional capabilities of the systems are considered, such as monitoring network parameters, optimizing heat distribution and quick response to changes in network operation. The importance of developing sustainable and modern heat supply systems to meet the needs of modern society is discussed.

**Keywords:** thermal networks, operational dispatch management, efficiency, optimization, energy system.

В современном мире, где энергоэффективность и устойчивость становятся ключевыми приоритетами, тепловые сети играют важную роль в обеспечении теплоснабжения городов и населенных пунктов. Для обеспечения надежной работы и оптимизации процессов управления тепловыми сетями необходимо использование систем оперативно-диспетчерского контроля (ОДК).

Системы ОДК в тепловых сетях представляют собой комплекс интегрированных технологий и программных решений, предназначенных для мониторинга, управления и оптимизации работы теплоснабжения. Эти системы позволяют оперативно отслеживать параметры работы сети, выявлять возможные аварийные ситуации, оптимизировать расход теплоносителя и повышать энергоэффективность всей системы [1].

Современные системы оперативно-диспетчерского управления в тепловых сетях включают в себя использование автоматизированных систем мониторинга, аналитики данных, прогностических моделей и алгоритмов оптимизации. Использование таких инноваций позволяет повысить эффективность работы системы, снизить расходы на эксплуатацию и обеспечить более точное управление процессами теплоснабжения [1].

В работе [2] представлена оптимальная модель работы интегрированной энергетической системы, учитывающей тепловую инерцию для поглощения энергии ветра. В этой модели учитываются задержка передачи тепла и теплоаккумулирующая способность зданий, что делает модель более практичной. Проведенное моделирование, показало, что предложенная модель может обеспечить более высокий коэффициент использования энергии ветра с меньшими эксплуатационными расходами. Учет вместимости зданий увеличивает потребление энергии ветра изменением графика тепловой нагрузки, в то время как задержка передачи в теплосети приводит к временному колебанию мощности и спроса, что обеспечивает более гибкую работу системы ТЭЦ. Эти выводы могут послужить некоторой теоретической поддержкой и руководством для

поставщика энергии при составлении плана диспетчеризации на день вперед.

В статье [3] предлагается метод оценки гибкости для сети централизованного теплоснабжения в комбинированном распределении тепловой и электрической энергии, основанный на обобщенной модели теплового накопления. Различные режимы управления системами отопления всесторонне моделируются для изучения их влияния на эксплуатационную гибкость сети централизованного теплоснабжения. Также разработана упрощенная модель комбинированного распределения тепла и электроэнергии на основе последовательного линейного программирования для повышения вычислительной производительности. Комплексные исследования, основанные на двух тестовых системах, демонстрируют эффективность и масштабируемость предлагаемого метода. Стратегия подачи переменного расхода и переменной температуры наиболее эффективна с точки зрения снижения затрат и интеграции возобновляемых источников энергии, что согласуется с рассчитанными показателями гибкости, начиная от регулирования температуры и заканчивая емкостями хранения.

Структура оперативного планирования для крупномасштабной диспетчеризации нагрузки с термостатическим управлением предложена в исследовании [4-5]. Используется усовершенствованная модель теплового комфорта, которая может оценить вероятностную степень комфорта жителей в различных условиях окружающей среды. Сначала предлагается самоадаптивный метод группировки нагрузки с термостатическим управлением. Затем предлагается иерархическая модель планирования на сутки вперед и модель диспетчеризации в реальном времени на основе модели прогнозирующего управления. Другим плодотворным направлением могло бы стать применение распределения нагрузки на основе модели теплового комфорта в других приложениях электросети, таких как баланс возобновляемой энергии, регулирование частоты и т.д.

Учитывая все вышесказанное, системы ОДК играют важную роль в обеспечении эффективности, надежности и безопасности тепловых сетей. Их использование позволяет совершенствовать процессы управления теплоснабжением, повышать энергоэффективность и обеспечивать комфортное теплоснабжение для городских сообществ.

### **Источники**

1. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ Ю. П. О некоторых особенностях в сфере энергосбережения //Строительство и реконструкция. – 2021. – С. 358-360.

2. Zheng T. et al. Operational flexibility and system dispatch //2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting. – IEEE, 2012. – С. 1-3.

3. Gu W. et al. Optimal operation for integrated energy system considering thermal inertia of district heating network and buildings //Applied energy. – 2017. – Т. 199. – С. 234-246.

4. Jiang Y. et al. Exploiting flexibility of district heating networks in combined heat and power dispatch //IEEE Transactions on Sustainable Energy. – 2019. – Т. 11. – №. 4. – С. 2174-2188.

5. Luo F. et al. An operational planning framework for large-scale thermostatically controlled load dispatch //IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2016. – Т. 13. – №. 1. – С. 217-227.

УДК 628.3

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И СРАВНЕНИЕ СХЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ НУЛЕВОГО СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕССЕРИВАНИЯ**

Зайнуллина Гульназ Ильвировна

Науч. рук. асс. Базин Дмитрий Александрович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zaynullina\_13@mail.ru

Достижение нулевого сброса сточных вод электростанций - одна из самых сложных проблем. В данной статье рассматривается преобразование сточных вод сероочистки тепловой электростанции в нулевой сброс; сравниваются и выбираются различные схемы блока предварительной очистки, блока термического обогащения и блока затвердевания, и предлагается наилучшая схема.

**Ключевые слова:** сточные воды, десульфуризация, сброс, ТЭЦ, сероочистка.

## **STUDY AND COMPARISON OF SCHEMES BASED ON ZERO DISCHARGE TECHNOLOGY FOR THERMAL DESULPHURIZATION WASTEWATERS**

Zainullina Gulnaz I.

KSPEU, Kazan, Russia

zaynullina13@mail.ru

Achieving zero discharge of power plant wastewater is one of the most challenging problems. This paper discusses the conversion of desulfurization wastewater of a thermal power plant to zero discharge; different schemes of pretreatment unit, thermal beneficiation unit and solidification unit are compared and selected, and the best scheme is proposed.

**Keywords:** wastewater, desulphurization, discharge, thermal power plant, desulphurization unit.

Технология десульфурационной очистки сточных вод устроена и объединена в последовательность трех установок. Для достижения нулевого сброса сточных вод можно выбрать одноэтапные, двухэтапные и трехэтапные процессы [1]. В настоящее время существует множество случаев инженерного применения нулевого сброса сточных вод десульфурации с различными технологическими схемами в стране и за рубежом. Технологическая схема нулевого сброса сточных вод должен быть сформулирована и реализована в соответствии с производственными особенностями электростанции. Технология и эксплуатация предварительной очистки являются предпосылкой нулевого сброса сточных вод десульфурации.

1) Комплексная предварительная обработка + низкотемпературное вакуумное многоэффективное испарение + высокотемпературное байпасное роторное распылительное испарение (трехступенчатый метод)

Схема проходит предварительную очистку с помощью интегрированного очистного устройства с интегрированным реактивом, взвешенные вещества в стоках относительно низкие, затем они поступают в низкотемпературную вакуумную многоэффективную испарительную систему для концентрации и сокращения. Преимущества схемы заключаются в том, что блок концентрации не производит твердых отходов, регулировка работы относительно проста, диапазон регулировки коэффициента концентрации велик, и она меньше связана с главной системой, которая относительно независима, и на ее обработку неисправностей, устранение дефектов и другие работы не влияют предельные значения рабочих условий главной системы [2].

2) Повторное использование существующего оборудования для предварительной очистки сточных вод (первичный отстойник) + затравочный метод, низкотемпературное вакуумное многоступенчатое выпаривание + высокотемпературное байпасное распыление с двумя жидкостями (трехстадийный процесс).

В блоке предварительной очистки этой схемы используется первичный отстойник, а в блоке концентрирования - метод

кристаллического посева низкотемпературным вакуумным многоэффектным испарением. Этот процесс предъявляет низкие требования к взвешенным веществам на входе, и содержание взвешенных веществ можно контролировать на уровне 5000-20000 мг/л. Первоначальный блок предварительной обработки можно обойти, а местом забора воды может служить отходящая вода из верхней части циклона десульфуризации сточных вод или вода с десульфуризационным гипсом. Недостатком этой схемы является то, что соотношение концентраций необходимо контролировать в определенном диапазоне, чтобы избежать проблемы закупорки труб из-за выпадения осадка, что негативно скажется на стадии затвердевания. Требуется установка фильтр-пресса, способного прессовать и фильтровать высокосолевого осадок, при этом отсутствует место для поглощения высокосолевого осадка, что влечет за собой проблемы с утилизацией и риски для окружающей среды [2].

3) Повторное использование существующего оборудования для предварительной очистки сточных вод + низкотемпературная концентрация отходящего тепла дымовых газов + высокотемпературное байпасное роторное распылительное испарение (трехстадийный процесс).

В этой схеме низкотемпературный дымовой газ извлекается в процессе концентрации и редуцирования тепла отходящих низкотемпературных дымовых газов и концентрируется в концентрационной башне за счет теплообмена дымовых газов и сточных вод. Этот процесс предъявляет низкие требования к показателю качества воды. В качестве блока предварительной очистки может использоваться оригинальный блок предварительной очистки тройного коллектора (или байпас). Концентрированным источником тепла являются отходящие дымовые газы. Испаренная вода из верхней части концентрационной установки поступает в сероочистительную установку вместе с дымовыми газами. Температура дымовых газов, поступающих в сероочистительное устройство, снижается, и расход технологической воды в системе сероочистки уменьшается. Эта схема оказывает определенное влияние на водный баланс. Необходимо добавить два вентилятора, поэтому потребление электроэнергии относительно высокое. Концентрационное устройство и поддерживающий ее циркуляционный насос, шламовый бак и т. д. для обработки 20 м<sup>3</sup>/ч сточных вод занимают площадь около 240 м<sup>2</sup> и должны быть размещены рядом с устройством сероочистки. В условиях нехватки земли для переоборудования установок она неприменима [2].

Подводя итог, можно сказать, что технологическая схема (1) является наиболее эффективной для достижения нулевого сброса десульфурации сточных вод на тепловой энергетической станции.

### **Источники**

1. Fan M (2021) Study on concentration and reduction process of desulfurization wastewater. *Commun Chem Eng Design* 47(12):172–173

2. Sun, R. (2023). Research and Scheme Comparison Based on Zero Discharge Technology of Thermal Desulfurization Wastewater. In: Zhang, J., Ruan, R., Bashir, M.J.K. (eds) *Environmental Pollution Governance and Ecological Remediation Technology. ICEPG 2022. Environmental Science and Engineering*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25284-6\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25284-6_35)

УДК 544.726

## **ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ИОНИТНЫХ СМОЛ**

Зайнуллина Гульназ Ильвировна

Науч. рук. асс. Бабилов Олег Евгеньевич

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

[zaynullina\\_13@mail.ru](mailto:zaynullina_13@mail.ru)

В данной работе рассматриваются существующие и перспективные способы производства ионообменных смол, которые играют важную роль в современных технологиях водоподготовки и водоочистки на предприятиях энергетического и нефтегазового сектора.

**Ключевые слова:** ионообменные смолы, водоподготовка, катиониты, аниониты.

## **REVIEW OF IONIC RESIN PRODUCTION TECHNOLOGIES**

Zainullina Gulnaz I.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[zaynullina\\_13@mail.ru](mailto:zaynullina_13@mail.ru)

This paper presents existing and promising methods for the production of ion exchange resins, which play an important role in modern water treatment and wastewater treatment technologies at enterprises in the energy and oil and gas sectors.

**Keywords:** ion exchange resins, water treatment, cation exchangers, anion exchangers.

Ионообменные смолы (иониты) применяются для умягчения воды путем удаления ионов кальция и магния, разделения химических соединений и ферментов в процессах производства лекарственных препаратов, производства напитков, фильтрации напитков в пищевой промышленности, удаления загрязнений из нефтяных и газовых фракций, очистки охлаждающей воды в энергетических установках и тепловых электростанциях.

В настоящее время ионообменные процессы активно применяются в различных отраслях промышленности и энергетике. Существует множество способов производства ионообменных смол, среди которых можно выделить химическую модификацию полимеров, гетерогенную функционализацию, суспензионную полимеризацию, микроэмульсионную полимеризацию, а также применение современных аддитивных технологий [1].

При использовании химической модификации полимеров получают полимерные составы высокоэластичных композиций сложной структуры. Примером таких модификаторов могут служить различные кремнийорганические соединения. Преимуществами данного метода являются повышение обменной емкости, селективности, повышение эффективности процессов очистки, разделения и сорбции веществ. Недостатками метода являются: сложный процесс производства, требующий проведения тщательного контроля в процессе изготовления.

При использовании гетерогенной функционализации происходит химическая реакция между добавленными группами и полимерной матрицей для их присоединения, что позволяет полимеру приобретать новые свойства, такие как способность поглощать и обмениваться ионами, что очень важно для ионнообменных смол. Однако появляется риск потери части активных центров, что может привести к снижению эффективности и обменной емкости ионитов.

Одной из наиболее распространенных технологий производства ионообменных смол, используемых для получения смол с гелевой структурой, является суспензионная полимеризация, обеспечивающая высокую обменную емкость и химическую стабильность. Смешивание мономеров, специального агента и инициатора в водной среде, полимеризация в суспензии, отделение, промывка и сушка смолы – все это описывает технологический процесс, применяемый в данной технологии.

Суспензионная полимеризация отличается высокой производительностью, низкой стоимостью, широким диапазоном получаемых смол. При этом образуются гелевые микросферы, которые обладают низкой механической прочностью.

При использовании аддитивного производства происходит послойное отверждение фотополимерной смолы. Емкость заполняется фотополимерной смолой, в которую погружается платформа и формируется модель. После того как платформа помещается в ванну, происходит УФ-облучение материала. Матрица необходима для формирования изображения печатного слоя. Платформа поднимается и процесс повторяется, пока изделие не будет готово полностью. Данный метод позволяет добиться при быстрой скорости печати высокой детализации, устранению искажений на краях модели. Однако данный метод является дорогостоящим.

Стоит сказать несколько слов и о производителях ионитных смол. ООО ПО «ТОКЕМ» занимает лидирующую позицию по объемам производства ионообменных смол в России. Предприятие основано 3 февраля 1942 года. Завод производит сильноосновные, слабоосновные гелевые и пористые аниониты, ионитные смолы для энергетических предприятий, а также ионитные смолы для ядерных энергетических установок.

Зарубежные компании активно исследуют и применяют наноматериалы и различные модификации для улучшения свойств ионообменных смол. Группа компаний TAURUS основанная в 1924 году в Китае является официальным производителем ионообменных материалов. На заводе производится около 400 разновидностей ионообменных смол и адсорбентов.

Компания Purolite является одним из ведущих мировых производителей ионообменных смол. Группа компаний Purolite, основанная в 1982 году находится в Великобритании, США, Румынии, Китае. Purolite использует передовые технологии для производства смол с увеличенной обменной емкостью. Смолы Purolite могут использоваться для различных задач, включая умягчение воды, обессоливание, очистку сточных вод, производство продуктов питания и напитков, фармацевтическую промышленность и др. Компания производит слабоосновные гелевые, макропористые аниониты, гелевые слабокислотные катиониты, сильноосновные макропористые, гелевые аниониты, сильнокислотные катиообменные смолы.



Стоит отметить, что технологии производства ионообменных смол совершенствуются каждый год, разрабатываются новые методы, позволяющие получать смолы с улучшенными характеристиками.

### **Источники**

1. М. Гапеку, А. Ю. Власова. Современные технологии водоподготовки на тепловых электрических станциях. Энергетика в условиях цифровой трансформации. Наука. Технологии. Инновации: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Волжский, 20–24 декабря 2021 года. – Волжский: Волжский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ". С. 195-199, 2022.

УДК 621.039

## **ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ВЫГОРАНИЕ ТОПЛИВА НА ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Залаев Айрат Эдуардович

Науч. рук. ст. преподаватель Бускин Руслан Владимирович

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

ajrat.zalaev@bk.ru

Относительно недавно было открыто образование RIM-слое в урановой таблетке, что приводит к изменению теплопроводности твела. В статье рассмотрены факторы приводящие к изменению теплопроводности и выведена зависимость теплопроводности от температуры.

**Ключевые слова:** выгорание топлива, твэл, rim-слой, урановая таблетка, теплопроводность.

## **THE INFLUENCE OF HIGH LEVELS OF FUEL BURNOUT ON ITS CHARACTERISTICS**

Zalaev Airat E.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ajrat.zalaev@bk.ru

Relatively recently, the formation of a RIM layer in a uranium pellet was discovered, which leads to a change in the thermal conductivity of the fuel. The article examines the factors leading to changes in thermal conductivity and derives the dependence of thermal conductivity on temperature.

**Keywords:** fuel burnup, fuel element, rim layer, uranium pellet, thermal conductivity.

Твэл — главный конструктивный элемент активной зоны, в котором происходит деление тяжёлых ядер, представленные в виде таблеток. К этим таблеткам предъявляются особые требования, главные из которых:

1. Радиационная стойкость
2. Высокая теплопроводность и температура плавления
3. Определенная пористость
4. Механическая прочность
5. Коррозийная и эрозийная устойчивость
6. Относительная дешевизна

В ходе эксплуатации, в топливной таблетке происходят различные структурные изменения. При температуре более 1650 К на границе с внутренним отверстием таблетки начинается быстрый рост равноосных зерен (область D3 на рисунке 1). Увеличение плотности в этой зоне вызывает рост количества пор в центральной зоне, с образованием столбчатых кристаллов (область D2). Эти явления аналогичны тем, что происходят при литье металлов, из чего можно предположить, что излучение не влияет на образование данных зон. Это подтверждают некоторые исследования [1], [2].

На рисунке можно увидеть узкий кольцевой слой, который называется RIM-слоем. Он образуется из-за накопления радиационных дефектов образованный повышением выгорания топлива (более 50 МВт\*сут/кг) и рекристаллизации зерен. Что приводит к уменьшению плотности периферийной зоны до 80%, а размер зерен до 200 нм.

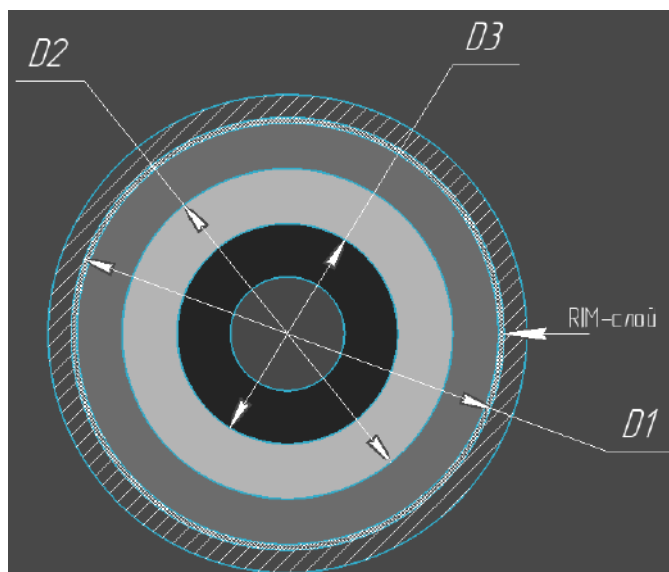


Рис. 1. Расположение слоев урановой таблеток

Учитывая уравнения теплопроводности для обоих случаев, полученных в работах [3], [4], мы получим график теплопроводности в зависимости от температуры (линия 0).

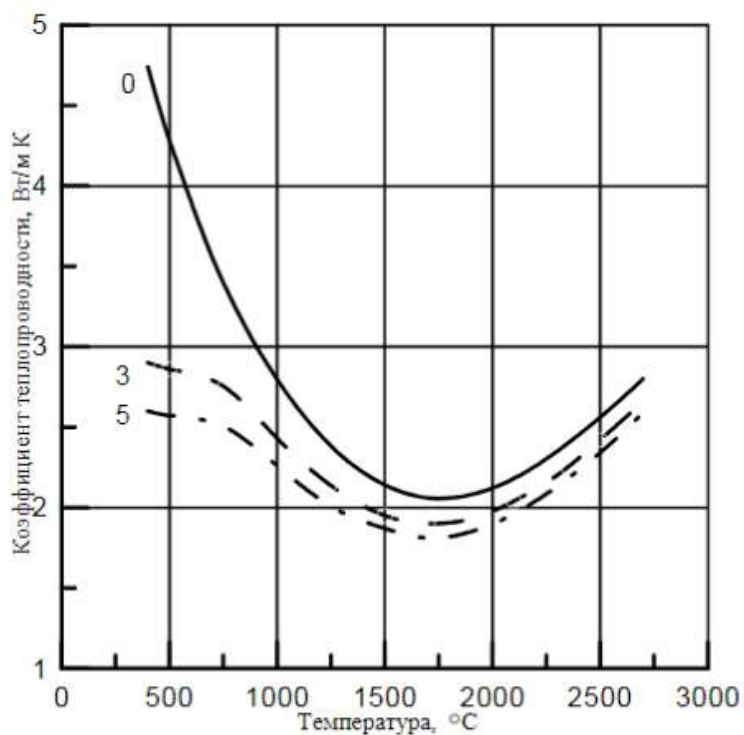


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры уранового топлива

В результате были получены зависимость теплопроводности от температуры с учетом различной кристаллической структуры урановых таблеток.

### Источники

1. Баранов В.Г., Тенишев А.В., Хлунов А.В. Газовыделение из таблеток модельного оксидного топлива на основе урана. - Перспективные материалы, 2008, №6, с. 39-44.
2. Баранов В.Г., Терновых М.Ю., Тихомиров Г.В., Хлунов А.В. Моделирование ядернофизических процессов в поверхностном слое топливного сердечника с выгорающим поглотителем. - Атомная энергия, 2008, т. 105, вып.6, с. 307-311.
3. Андрианов А.Н., Баранов В.Г., Тихомиров Г.В., Хлунов А.В. Моделирование ядернофизических процессов в поверхностном слое топливного сердечника. - Атомная энергия, 2008, т. 104, вып. 6, с. 353-358.
4. Баранов В.Г., Годин Ю.Г., Хлунов А.В. Способ определения коэффициента диффузии кислорода в металлах и окислах / Авт. св-во СССР № 911292, Б.И. №9,1982.

УДК: 621.039.003

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВВЭР-ТОИ

Земляных Владислав Павлович

Науч. рук. ст. преп. Бускин Руслан Владимирович

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

vladislav.zemlianykh@gmail.com

В данной статье рассматриваются перспективы использования реактора ВВЭР-ТОИ. Проанализированы и представлены его технические характеристики, экологические и экономические преимущества, а также его пути дальнейшего использования и развития.

**Ключевые слова:** ВВЭР-ТОИ, АЭС-2006, безопасность, экономичность, поколение «3+», РЕМИКС-топливо, КИУМ.

## PROSPECTS FOR USING VVER-TOI

Zemlyanykh Vladislav P.  
KSPEU, Kazan, Russia  
vladislav.zemlianykh@gmail.com

This article discusses the prospects for using the VVER-TOI reactor. Its technical characteristics, environmental and economic advantages, as well as its ways of further use and development are analyzed and presented.

**Keywords:** VVER-TOI, NPP-2006, safety, efficiency, generation “3+”, REMIX-fuel, ICUF.

ВВЭР-ТОИ — это типовой проект, оптимизированный и информационный по технико-экономическим показателям, относится к АЭС поколения «3+». Проект ВВЭР-ТОИ разработан на основе материалов проекта АЭС-2006 [1].

Для сравнения будем использовать действующий проект АЭС-2006. Так, вроде бы объединённые под одним проектом АЭС-2006 блоки превратились в два похожих, но всё же разных проекта. Основные различия между этими двумя проектами представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1.

Основные показатели	АЭС-2006	ВВЭР-ТОИ
Электрическая мощность, МВт	1198	1255
Тепловая мощность, МВт	3200	3312
Срок эксплуатации, лет	50	60
КПД, %	37,4	37,9
Время автономности станции в случае ЗПА, ч	24	72
Расчетное землетрясение, MSK-64	6	7
Масса падающего самолета (проектное значение), т	5,7	20
Масса падающего тяжелого самолета, т	—	400
Время строительства, мес	54	48/40
Расход электроэнергии на собственные нужды, %	7	6,57
Удельная площадь занимаемых земель на ГП, м <sup>2</sup> /МВт	272	200
Турбоустановка	Быстроходная	Тихоходная

Исходя из информации в таблице, можно сделать вывод, что ВВЭР-ТОИ имеет более высокий уровень безопасности по сравнению с

предыдущими моделями. Системы и компоненты АЭС спроектированы для выдерживания максимальных нагрузок, включая землетрясения до 7 баллов по шкале MSK-64 и падение самолётов различной массы и скорости. Проект предусматривает отсутствие выброса радиоактивных веществ, защиту от ударной волны и сильного ветра, что позволяет эксплуатировать ВВЭР-ТОИ в разных регионах мира [3].

Проект ВВЭР-ТОИ стал гораздо экономичнее. Об этом говорит сокращение времени сооружения станции с 54 месяцев до 48 (для референтного блока), в планах уменьшить до 40 (для серийных блоков). Срок службы незаменимого оборудования продлен до 60 лет благодаря принятию дополнительных мер для снижения воздействия нейтронов на сталь реактора: увеличен диаметр корпуса на 40 см, уменьшено содержание никеля и примесей в основном металле, количество швов сократилось до трех, и их расположение было оптимизировано относительно наиболее интенсивного потока нейтронов [4].

Решения, принятые для ВВЭР-ТОИ, гарантируют возможность его усовершенствования, обеспечивая:

- повышение выработки электроэнергии (за счет повышения КИУМ, сокращения времени простоев и т.д.);
- снижение энергопотребления для собственных нужд;
- снижение потери электрической и тепловой энергии;
- поддержания должного уровня безопасности, в соответствии с требованиями нормативных документов;
- использования РЕМИКС-топлива.

РЕМИКС-топливо открывает новые горизонты для эксплуатации ВВЭР-ТОИ. Использование топлива РЕМИКС позволит уменьшить расходы природного урана в ядерном топливном цикле.

В итоге рассмотрения данного вопроса можно сказать, что перспектива использования ВВЭР-ТОИ является большой. Об этом говорит его потенциальное развитие, использование РЕМИКС-топлива, нынешние основные показатели и технические решения, которые способствуют снижению стоимости и улучшению безопасности проекта.

## **Источники**

1. Енговатов, И. А. Проектирование, строительство и вывод из эксплуатации объектов использования атомной и тепловой энергии : учебно-методическое пособие / И. А. Енговатов, И. Е. Воронков. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2023. — 67 с. — ISBN 978-5-7264-3186-4. —

Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/369770> — Режим доступа: для авториз. пользователей. (дата обращения: 03.03.2024)

2. Бушуев, Н. И. История и технология ядерной энергетики : учебное пособие / Н. И. Бушуев. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2015. — 232 с. — ISBN 978-5-7264-1060-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/73680> — Режим доступа: для авториз. пользователей. (дата обращения: 05.03.2024)

3. Габараев, Б. А. Атомная энергетика XXI века : учебное пособие / Габараев Б. А. , Свиридов В. Г. , Смирнов Ю. Б. , Черепнин Ю. С. — 2-е изд. , перераб. и доп. — Москва : МЭИ, 2021. - ISBN 978-5-383-01447-9. — Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. — URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014479.html>. — Режим доступа : по подписке. (дата обращения: 04.03.2024)

4. Ланкевич, А.В. ВВЭР - история, состояние и развитие, 11.01.2022: интернет-статья — URL: <http://www.atominfo.ru/newsz04/a0504.htm> (дата обращения: 04.03.2024)

УДК 621-187.11

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ рНt ПРИ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Зотова Ксения Владимировна<sup>1</sup>, Ухалова Елена Геннадьевна<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Ларин Андрей Борисович

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «ИГЭУ» г. Иваново

<sup>1,2</sup> [antonim37@mail.ru](mailto:antonim37@mail.ru)

В статье предложены варианты косвенного определения показателя рНt при фактической температуре теплоносителя (рНt). Приведены аналитические выражения для расчета рНt в продувочной воде парогенератора второго контура АЭС. Показана возможность использования аналитических моделей для анализа состояния водно-химического режима (ВХР), приведена система уравнений математической модели ионных равновесий.

**Ключевые слова:** водно-химический режим, автоматический химический контроль, расчет показателей качества теплоносителя, удельная электропроводность, водородный показатель рНt, уголекислота, аммиак.

## METHODS OF DETERMINATION HYDROGEN ION EXPONENT (pHt) VALUE FOR THE OPERATING PARAMETERS OF THE COOLANT

Zotova Ksenia V.<sup>1</sup>, Ukhalova Elena G.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ISPU, Ivanovo

<sup>1,2</sup> antonim37@mail.ru

The article offers options for the indirect determination of the pH at the actual temperature of the coolant (pHt). The article presents analytical expressions for predicting the pH value in the purge water of the steam generator of the second circuit of the NPP. The possibility of using analytical models for analyzing the water chemistry (WC) state is shown, and the system of equations of the ionic equilibria mathematical model is presented.

**Keywords:** water chemistry, automatic chemical monitoring, calculation of coolant quality indicators, electrical conductivity, hydrogen ion exponent, pH value, carbonic acid, ammonia.

Одной из основных задач поддержания физико-химических показателей водного режима теплоносителя и рабочего тела АЭС в пределах, обеспечивающих длительную надежную эксплуатацию оборудования, является контроль и своевременная коррекция высокотемпературного значения показателя рНt [1]. Величина рН<sub>25</sub> (в охлажденной пробе) и рН при рабочих параметрах теплоносителя (рНt) не совпадают в связи с изменением степени диссоциации различных примесей и самой воды. В настоящее время не существует надежных способов непосредственного измерения и надежного контроля этого важного показателя. В продувочной воде парогенераторов второго контура непрерывно контролируется рН<sub>25</sub> и электропроводность  $\chi_{25}$  (в некоторых случаях после Н-фильтров), остальные показатели контролируются периодически. В таких условиях своевременная коррекция водородного показателя рНt практически невозможна.

Одним из возможных способов решения данной проблемы является создание математических моделей, описывающих зависимость величины рНt от измеряемых параметров водной среды. Разработанный алгоритм расчета аналитических моделей описывает зависимость величины рНt от удельной электропроводности  $\chi_{25}$ , значение которой непрерывно контролируется и отсутствует потребность в разработке и установке новых приборов. Например, с помощью анализатора «Лидер АПК», разработанного на кафедре Химии и химических технологий в энергетике ИГЭУ совместно с «НПП Техноприбор», измеряются значения удельной



электропроводности ( $\chi$  и  $\chi_H$ ) в охлажденных пробах водного теплоносителя и рассчитываются концентрации ионных примесей. Затем можно рассчитать значения рНt при рабочей температуре водной среды с использованием математической модели ионных равновесий в «чистой» воде и предельно разбавленных растворах.

Определять рНt также можно по измерению удельной электропроводности водного теплоносителя при фактических параметрах рабочей среды ( $\chi_t$ ). При этом измерение  $\chi_t$  теплоносителя проводится специальным датчиком [2].

Математическая модель, разработанная для расчетного определения рНt, представляет собой систему уравнений: уравнение электропроводности (1), уравнение ионного произведения воды (2), уравнение диссоциации аммиака (3), уравнение диссоциации угольной кислоты (4), а также уравнение, полученного преобразованием закона Оствальда, при степени диссоциации  $\alpha \ll 1$  (5). При гидразин-аммиачном водном режиме (ГАВР) питательная вода и пар представляют собой предельно разбавленные растворы, содержащие в основном  $\text{NH}_4\text{OH}$  и  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  и малые концентрации солей, относимых обычно к  $\text{NaCl}$ . Принимая некоторые допущения, а именно пренебрегая сравнительно малыми концентрациями растворенных солей, относимых на  $\text{NaCl}$ , система уравнений запишется следующим образом:

$$1000 \cdot \chi = \lambda_{0, \text{NH}_4^+} \cdot C_{\text{NH}_4^+} + \lambda_{0, \text{OH}^-} \cdot C_{\text{OH}^-} \quad (1)$$

$$K_W = C_{\text{H}^+} \cdot C_{\text{OH}^-} \quad (2)$$

$$K_{\text{NH}_4\text{OH}} = \frac{C_{\text{NH}_4^+} \cdot C_{\text{OH}^-}}{C_{\text{NH}_4\text{OH}} \cdot C_{\text{NH}_4^+}} \quad (3)$$

$$K_{\text{H}_2\text{CO}_3} = \frac{C_{\text{H}^+} \cdot C_{\text{HCO}_3^-}}{C_{\text{H}_2\text{CO}_3} - C_{\text{HCO}_3^-}} \quad (4)$$

$$\Lambda = \Lambda_0 \cdot \sqrt{\frac{K_2}{C}} \quad (5)$$

Преобразовывая данные уравнения методом выражения и подстановки, можно рассчитать рНt для водных монорастворов аммиака и уголекислоты, при концентрациях, полученных измерением  $\chi$  и  $\chi_H$  в

охлажденных пробах. Для водного раствора смеси слабых электролитов – аммиака и углекислоты, расчет  $pH_t$  выполняется аналогичным образом, применяя анализ более сложных систем уравнений ионных равновесий при известных константах диссоциации  $K_{i,t}$ .

Таким образом, применяя теорию ионных равновесий можно определять (рассчитывать) ряд важных характеристик водного теплоносителя энергоблоков ТЭС и АЭС, включая значения показателя  $pH_t$ .

### **Источники**

1. Тяпков В.Ф. Комплексный подход к выбору водно-химического режима II контура в проектах АЭС с ВВЭР-1200//Теплоэнергетика, 2011. №5. С. 16-20.

2. Голубев Б.П. Электрофизические методы исследования свойств теплоносителей/Голубев Б.П., Смирнов С.Н., Лукашов Ю.М., Свистунов Е.П. – М.:Энергоатомиздат, 1985.-184с.

УДК 692.23

## **СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Иванкив Екатерина Руслановна

Науч. рук. к.т.н., доц. Закиров Ринат Нургалиевич  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
katiko.007@mail.ru

Данная статья рассматривает актуальную проблему снижения тепловых нагрузок систем теплоснабжения с целью обеспечения эффективной и экономичной работы теплоснабжающих предприятий. В статье освещены основные направления снижения, включая использование новых материалов с улучшенными тепло- и звукоизоляционными свойствами, интеграцию умных технологий для оптимизации работы конструкций.

**Ключевые слова:** эффективность, ограждающие конструкции, теплоизоляция, инновационные материалы, энергия, тепловые нагрузки.

# REDUCTION OF THERMAL LOADS OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM

Ivankiv Ekaterina R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

katiko.007@mail.ru

This article examines the urgent problem of reducing the thermal loads of heat supply systems in order to ensure efficient and economical operation of heat supply enterprises. The article highlights the main areas of reduction, including the use of new materials with improved thermal and sound insulation properties, the integration of smart technologies to optimize the operation of structures.

**Keywords:** efficiency, enclosing structures, thermal insulation, innovative materials, energy, thermal loads.

В современном мире повышение энергоэффективности и снижение негативного воздействия на окружающую среду становятся все более важными задачами. Одной из наиболее энергозатратных отраслей является система теплоснабжения, где значительная часть энергии теряется в виде тепловых потерь. Для решения этой проблемы необходимо снижение тепловых нагрузок систем теплоснабжения.

Существует ряд методов и технологий, которые позволяют снизить потери тепла в системах теплоснабжения. Это может быть улучшение теплоизоляции трубопроводов, модернизация котельных установок, использование современных теплогенерирующих и распределительных систем, внедрение систем автоматизации и управления, а также оптимизация работы всей системы. Одним из основных направлений в снижении тепловых нагрузок систем теплоснабжения является повышение эффективности ограждающих конструкций при проведении капитальных ремонтов зданий. Современные технологии позволяют создавать материалы, обладающие улучшенными теплоизоляционными и звукоизоляционными свойствами, а также повышенной прочностью.

Экодизайн и энергоэффективность - это актуальные концепции, которые выражают необходимость поиска новых строительных решений, благоприятных для окружающей среды и ведущих к снижению потребления материалов и энергии. В последние годы уделяется все больше внимания, композитным материалам с полимерной матрицей, армированным натуральными волокнами, поскольку экологический аспект становится все более актуальным вопросом промышленного применения.

Оценка жизненного цикла для широкого спектра композитов из натуральных волокон демонстрирует, что эти материалы обладают экологическими преимуществами, такими как снижение зависимости от невозобновляемых источников энергии/материалов, более низкие выбросы загрязняющих веществ, более низкие выбросы парниковых газов, повышенная рекуперация энергии и способность компонентов к биологическому разложению в конце срока службы [1].

Например, в работе [2] описано инновационное решение и применение активной тепловой защиты зданий с использованием теплоизоляционных панелей с активным регулированием теплопередачи в виде системы контактной изоляции. Настоящее изобретение решает проблему экономии энергии не только за счет теплоизоляции, которая позволяет активно контролировать теплопередачу через ограждающие конструкции здания, но и за счет многофункциональности системы теплоизоляции, с интегрированной энергетической системой от наружных навесов здания для возобновляемых источников энергии — солнечная энергия и энергоносители.

Также с развитием интернета и цифровых технологий в жилищном строительстве появляется возможность создания "умных" ограждающих конструкций. Умные окна, которые реагируют на изменения внешней среды и автоматически регулируют тепло- и светопередачу, а также системы мониторинга качества воздуха в помещениях - все это способствует повышению комфорта и безопасности жильцов.

Активные динамические окна, такие как электрохромные, могут играть ключевую роль в инновационных усовершенствованных ограждающих конструкциях зданий. Данная технология обеспечивает большой выбор в архитектурном проектировании, улучшенный визуальный и тепловой комфорт и повышенную энергоэффективность, позволяя создавать адаптивную к климату оболочку здания, полностью адаптируемую к любым погодным условиям или предпочтениям жильцов [3].

Также для повышения эффективности ограждающих конструкций стоит обратить внимание на меры, которые помогут снизить энергопотребление здания и обеспечить комфортное внутреннее пространство. Например, улучшение теплоизоляции, установку энергоэффективных окон и дверей, применение систем рециркуляции тепла. В работе [4] представлен метод математического моделирования и численного решения с целью повышения эффективности теплоизоляции. Улучшение теплоизоляции ограждающих конструкций не только

способствует экономии энергии и снижению расходов на отопление, но также повышает комфорт жильцов и улучшает общую энергоэффективность здания.

Таким образом, снижение тепловых нагрузок систем теплоснабжения не только приведет к экономии энергии и снижению затрат на отопление, но и позволит снизить выбросы CO<sub>2</sub> и других вредных веществ, что в свою очередь способствует сохранению окружающей среды.

### **Источники**

1. La Rosa A. D. et al. Environmental impacts and thermal insulation performance of innovative composite solutions for building applications //Construction and Building Materials. – 2014. – Т. 55. – С. 406-414.

2. Kalús D. et al. Innovative building technology implemented into facades with active thermal protection //Sustainability. – 2021. – Т. 13. – №. 8. – С. 4438.

3. Casini M. Active dynamic windows for buildings: A review //Renewable Energy. – 2018. – Т. 119. – С. 923-934.

4. Резанов Е. М., Петров П. В. К вопросу повышения эффективности утепления тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций стен зданий //АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ. – 2017. – С. 18-21.

УДК 621.182

## **ПРИМЕНЕНИЕ САПР В ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Иванова Альбина Руслановна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

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

ivanova5albina@gmail.com

В данной работе рассматривается применение систем автоматизированного проектирования (САПР) при создании моделей различных элементов теплоэнергетической системы. Подчеркивается важность применения цифровых технологий при создании подобного наукоемкого оборудования и расчете сложных процессов, протекающих в теплоэнергетической системе. Приведен пример моделирования парогенерирующей установки.

**Ключевые слова:** теплоэнергетическая система, моделирование, математическая модель, системный анализ.

## THE USE OF CAD IN THE DESIGN OF THERMAL POWER SYSTEMS

Ivanova Albina R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ivanova5albina@gmail.com

In this paper, the application of computer-aided design (CAD) systems is considered when creating models of various elements of a thermal power system. The importance of using digital technologies in the creation of such high-tech equipment and the calculation of complex processes occurring in a thermal power system is emphasized. An example of modeling a steam generating plant is given.

**Keywords:** thermal power system, modeling, mathematical model, system analysis.

На данный момент наблюдается тенденция цифровизации практически всех сфер человеческой жизни и автоматизации множества процессов. Данные изменения не могли не затронуть сферу энергетики, в частности теплоэнергетику. Данный факт свидетельствует о необходимости обучения соответствующих специалистов, компетенции которых позволяют вести разработку информационных систем для технологических процессов, при этом отталкиваясь от фундаментальных знаний в предметной области проводимого исследования. Стоит отметить, что при моделировании сложных процессов/элементов, включающих множество взаимозависимых связей самая большая сложность скрывается в процессе разработки задачи, решаемой посредством моделирования, таким образом стираются границы между формулированием задачи, продумыванием алгоритма ее решения и непосредственной реализации решения с помощью конкретного программного обеспечения (ПО), а корректировка задачи возможно на любом из заявленных этапов ее решения.

Рассмотрим особенности моделирования парогенерирующей установки (ПГУ), примером которой может быть паровой котел.

В данном случае, как и в случае моделирования теплообменной и теплотехнологической установки задачей конструктивного расчета является вычисление площади поверхности, через которую будет происходить теплопередача. Данная площадь равна отношению передаваемого необходимого количества теплоты к производству

температурного напора и коэффициента передачи между теплоносителями, согласно уравнению тепловой передачи.

Математическую модель ПГУ, в рассматриваемом случае, исходя из принципов структурного программирования и системного анализа можно представить в качестве совокупности ряда подсистем, имеющих различную иерархию (см. рисунок).



Схема модели ПГУ

Данная математическая модель включает в себя такие уравнения теплового расчета как материальный баланс по энергоносителю, топочным газам, тепловой баланс, аэродинамический баланс газов, гидравлический баланс по воде/пару, уравнение теплопередачи. При этом данная модель дает возможность определения площади теплообмена пара/воды, температуры выходящего из установки газа. Также в модель может содержать конструктивные и прочностные расчеты для узлов и поверхностей нагрева, модель позволяет учитывать особенности установки, связанные с технологическими требованиями, предъявляемыми к ней, технологией изготовления, условиями надежности эксплуатации. Как итог, получаем модель ПГУ, с помощью которой возможно определить: расходы (топлива/газа/пара/воды), потери в давлении потоков, его средние скорости и энтальпии [1, 2].

Таким образом, подводя итог, можем утверждать, что моделирование различных элементов теплоэнергетической системы и процессов, протекающих в ней является достаточно сложной и трудоемкой задачей, что актуализирует применение САПР (например, таких как nanoCAD BIM ВК, nanoCAD BIM Отопление, Project StudioCS Водоснабжение, Project StudioCS Отопление, ZuluGIS, и др.) для ее решения, и делает в современном мире это необходимым.

### **Источники**

1. Табунщиков, Ю. А. Системный анализ проектирования энергоэффективных зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач // Архитектура и современные информационные технологии. – 2015. – № 5. – С. 14.

2. Трубаев, П. А. Автоматизированное проектирование теплоэнергетического оборудования / П. А. Трубаев, А. В. Рыбина. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – 154 с.

УДК 66.074.51

## **АБСОРБЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ CO<sub>2</sub> ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ВОДОГРЕЙНОГО ГАЗОВОГО КОТЛА МОЩНОСТЬЮ 1000 КВТ**

Камалиева Рузина Фарсиловна

Науч. рук. док. техн. наук, доцент Антонина Андреевна Филимонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ruzzi@yandex.ru

На основе литературного обзора и лабораторных экспериментов подобран наиболее эффективный абсорбирующий материал – 10 % раствор NaOH. В работе проводились термодинамические и технические расчеты для насадочного абсорбера для абсорбции CO<sub>2</sub> из дымовых газов водогрейного газового котла.

**Ключевые слова:** абсорбционная установка, улавливание, углекислый газ, дымовые газы, водогрейный котел.



# ABSORPTION PLANT FOR CO<sub>2</sub> CAPTURE FROM FLUE GASES OF A 1000 KW HOT WATER GAS BOILER

Kamalieva Ruzina F.  
KSPEU, Kazan, Russia  
ruzzi@yandex.ru

Based on the literature review and laboratory experiments, the most effective absorbent material was selected – a 10% NaOH solution. Thermodynamic and technical calculations were carried out for a nozzle absorber for the absorption of CO<sub>2</sub> from the flue gases of a gas hot water boiler.

**Keywords:** absorption unit, capture, carbon dioxide, flue gases, hot water boiler.

В настоящее время во многих странах активно обсуждается проблема сокращения выбросов углекислого газа, вызванная резким повышением средней глобальной температуры.

Одной из самых эффективных технологий по снижению выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу является применение абсорбции, основанной на поглощении газа всем объемом жидкости (абсорбентом) [1]. На основе проведенных лабораторных экспериментальных исследований было выявлено, что 10% раствор NaOH наиболее эффективно улавливает углекислый газ.

На основе выбранного абсорбента проводились термодинамические и технические расчеты для насадочного абсорбера для абсорбции CO<sub>2</sub> из дымовых газов водогрейного газового котла мощностью 1000 кВт, при  $t = 35$  °C и  $p = 1$  атм. В качестве насадок были выбраны керамические кольца Рашига размером 25×25×3 мм. Начальная концентрация углекислого газа в дымовых газах составила  $y_n = 0,075$  мольных долей, расчетный объёмный расход дымовых газов  $V = 0,41$  м<sup>3</sup>/с. Учитывалось, что начальная концентрация углекислого газа в абсорбенте NaOH 10%  $x_n = 0$ . Степень извлечения принималась  $\alpha = 0,9$ .

Количество поглощаемого CO<sub>2</sub> определяется по формуле [2]:

$$G_{CO_2} = \frac{Vy_n M_{CO_2} \alpha}{22,4} \quad (1)$$

Расход абсорбента прогнозируется следующим образом [2]:

$$L = \frac{G_{CO_2} \varepsilon}{\bar{X}_k^* - \bar{X}_n}, \quad (2)$$

где  $\bar{X}_k^*$ ,  $\bar{X}_n$  – начальная и конечная концентрации  $CO_2$  в абсорбенте, выраженные в относительных массовых единицах, кг  $CO_2$ /кг NaOH 10%;  $\varepsilon$  – избыток абсорбента 20%.

Диаметр абсорбера рассчитывается по формуле [2]:

$$D_k = \sqrt{\frac{4V}{\pi \rho_r w}}, \quad (3)$$

где  $w$  – скорость газов, м/с определяется следующим образом:

$$\lg \left( \frac{w^2 \sigma \rho_r \mu_{ж}^{0,16}}{g V_{св}^3 \rho_{ж}} \right) = A - B \left( \frac{L}{V} \right)^{0,25} \left( \frac{\rho_r}{\rho_{ж}} \right)^{0,125}, \quad (4)$$

где  $\rho_r$ ,  $\rho_{ж}$  – плотность газовой фазы и абсорбента при рабочих условиях,  $м^3/кг$ ;  $\mu_{ж}$  – вязкость абсорбента при рабочих условиях,  $мПа \cdot с$ ;  $\sigma$  – удельная поверхность насадки,  $м^2/м^3$ ;  $V_{св}$  – свободный объем насадки,  $м^3/м^3$ ;  $A$ ,  $B$  – коэффициенты в зависимости от типа насадки [3].

Высота колонны в целом определяется по формуле [2]:

$$H_k = H_n + h_n + h_b + \left( \frac{H_n}{3D_k} - 1 \right) h_p, \quad (5)$$

где  $h_n = 2,0$  – высота нижней части колонны, м;  $h_b = 1,0$  – высота верхней части колонны, м, принимается в зависимости от диаметра колонны;  $\left( \frac{H_n}{3D_k} - 1 \right)$  – число разрывов между насадкой, шт.;  $h_p = 0,4$  – высота разрыва, м;  $H_k$  – высота насадки, рассчитанная следующим образом:

$$H_n = \frac{G_{SO_2}}{M_{SO_2} S_k \sigma K_{\Delta P} \Delta P_{ср}}, \quad (6)$$

Где  $S_k$  – площадь поперечного сечения колонны,  $м^2$ ;  $\sigma$  – удельная поверхность насадки,  $м^2/м^3$ ;  $K_{\Delta P}$  – коэффициент массопередачи определяется по формуле (7);  $\Delta P_{ср}$  – средняя движущая сила процесса абсорбции, выраженная через парциальное давление, кПа.

$$K_{\Delta P} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\Gamma}} + \frac{\phi}{\beta_{\text{ж}}}}, \quad (7)$$

где –  $\beta_{\Gamma}$  коэффициент массоотдачи для газа;  $\beta_{\text{ж}}$  – коэффициент массоотдачи для жидкости;  $\phi$  – коэффициент распределения.

По результатам расчета для данной энергоустановки количество поглощаемого углекислого газа составило 0,054 кг/с, расход абсорбента NaOH 10 % – 0,3669 кг/с, диаметр абсорбера по ГОСТ – 0,8 м, высота колонны – 6,25 м.

Таким образом, предлагаемая технология может использоваться для абсорбции углекислого газа с газо-потребляющих устройств мощностью менее 60 МВт.

### **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. Леканова Т.Л., Казакова Е.Г. Расчет абсорбционных установок // Сыктывкар : СЛИ, 2010. – 82 с.

3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов // М.: Альянс, 2006. – 576 с.

УДК 621.165

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

Кашин Максим Алексеевич

Науч. рук. асс. Бабилов Олег Евгеньевич

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

maksim.kashhin@gmail.com

Повышение эффективности паровых турбин может быть достигнуто за счет модернизации и реконструкции, улучшенных конструкторских решений и применения новых технологий. Целью данной статьи является обзор различных способов повышения

эффективности паровых турбин, которые позволяют улучшить их эксплуатационные характеристики и обеспечить надежную работу на протяжении длительного времени.

**Ключевые слова:** конденсационная турбина, реконструкция, модернизация, реактивное облопачивание.

## WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF STEAM TURBINES

Kashin Maksim A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

maksim.kashhin@gmail.com

Increasing the efficiency of steam turbines can be achieved through modernization and reconstruction, improved design solutions and the use of new technologies. The purpose of this article is to review various ways to improve the efficiency of steam turbines, which can improve their performance and ensure reliable operation for a long time.

**Keywords:** Condensation turbine, reconstruction, modernization, reactive flapping.

Модернизация паровых турбин заключается в замене отдельных узлов и агрегатов, а также внедрение новых технологий и материалов, с целью продления срока службы турбоустановки и повышение эффективности её работы. Реконструкция подразумевает проведение значительных и принципиальных изменений в конструкцию турбоагрегата или схему турбинной установки, обычно с целью увеличения тепловой или электрической мощности. По результатам проведенного анализа литературных источников по данной теме, выделим основные методы технического совершенствования паровых турбин.

Одно из наиболее эффективных способов модернизации конденсационных турбин ТЭС – замена ротора цилиндра высокого давления (ЦВД) активного типа на реактивный. Модернизация включает в себя замену наружного и внутреннего корпуса ЦВД с реактивным облопачиванием, установку нового РВД с реактивным облопачиванием, замену направляющего аппарата, новые модернизированные концевые и внутренние уплотнения ЦВД, установку сотовых надбандажных уплотнений [1].

Повышение эффективности работы ЦВД благодаря использованию реактивного покрытия лопаток обусловлено следующими причинами: С увеличением числа ступеней возрастает коэффициент возврата тепла и КПД цилиндра:

$$\eta_t = (1 + \alpha) \cdot \eta'_t,$$

$$\alpha = \alpha_\infty \cdot (z - 1) / z,$$

где  $\eta_t$  – КПД группы ступеней,  $\eta'_t$  – КПД одной ступени,  $\alpha$  – коэффициент возврата тепла группы ступеней,  $\alpha_\infty$  – коэффициент возврата тепла для бесконечного числа ступеней.

Температурный перепад на ступень уменьшается, вследствие чего в проточной части турбины снижается скорость пара и потери в сопловых и рабочих лопатках.

Уменьшаются дополнительные потери в лопаточном аппарате за счёт уменьшения диаметра проточной части и увеличения высоты лопаток.

В работе авторов [2] при модернизации была выполнена замена внутреннего корпуса цилиндра и ротора высокого давления, но регулирующая ступень активного типа осталась неизменной, потому что она необходима при сопловом распределении пара, которое считается самым оптимальным для турбин, работающих в переменном графике нагрузок. Такое использование реактивного облопачивания позволяет увеличить КПД цилиндра высокого давления на 5÷6 %.

В компании Siemens существуют примеры модернизации паровых турбин с заменой ротора и направляющего аппарата при сохранении наружного корпуса, при этом все новые детали рассчитаны на общий срок службы 30 лет.

Рассмотрим реконструкцию турбины К-200-130 ЛМЗ, которая заключалась в замене старого цилиндра низкого давления (ЦНД) на модернизированный, с увеличенной, благодаря исключению ступени Баумана, площадью выпускного отверстия, что позволяет использовать более высокие рабочие лопатки в последней ступени [3].

Гарантийные испытания показали, что после реконструкции ЦНД значение КПД достигает обещанного производителем уровня равного 87,5%. Внедрение нашего решения позволило увеличить мощность турбины К-200-130 и сократить удельный расход тепла на турбину примерно на 1,3% по сравнению со стандартными характеристиками.

Другим методом является модернизация системы уплотнений для конденсационной турбины за счёт установки сотовых уплотнений, использование которых обеспечивает повышение экономичности проточной части за счёт сокращения радиальных зазоров между выступами бандажа ротора и уплотнительной поверхностью (сотовые вставки), что уменьшает

нежелательные перетоки пара, а также гарантирует надежность и безопасность работы турбоагрегата. Для определения эффективности использования сотовых уплотнений на турбине К-300-23,5 ЛМЗ, было проведено сравнение показателей с лабиринтовыми уплотнениями. Были сопоставлены основные энергетические характеристики и потери энергии при использовании каждого типа уплотнений. Согласно расчетам, в лабиринтовых уплотнениях наблюдаются самые большие потери от утечек, а именно – 0,25 кДж/кг. Потери в сотовых и комбинированных уплотнениях практически равны и приблизительно в 2,5 - 3 раза меньше, чем в лабиринтовых уплотнениях [4].

### **Источники**

1. Д.И. Акобиров, И.В. Евгенийев. Способы модернизации паровых турбин в составе парогазовых установок // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VII Национальной научно-практической конференции. 2022. С. 261-263.

2. Панков С.А., Рябова Е.И. Проект реконструкции цилиндра высокого давления паровой турбины большой мощности // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии. 2023. Т. 2. С. 64-68

3. Г.О. Рябоконт , Й.С. Мысак. Опыт реконструкции паровых турбин К-200-130 ЛМЗ с заменой цилиндра низкого давления. Национальный университет «Львовская политехника», 2016.

4. Крюков Н.А. Модернизация системы уплотнений паровой турбины К-300-240 ЛМЗ // ЭНЕРГИЯ-2021. 2021. Т. 1. С. 24.

УДК: 621.6

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА В ОБЛАСТИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Кенчадзе Олег Автандилович

Науч. рук. к.х.н., доц. Гибадуллина Халида Вазыховна

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

olegkencadze@gmail.com

В данной статье проанализированы основные методы получения водорода в области промышленности, а именно риформинг, электролиз и газификация угля. Каждый из методов обладает своими особенностями, преимуществами и недостатками.

Выбор оптимального метода зависит от многих факторов, таких как доступность исходного сырья, экологические требования, стоимость и т.д. Для обеспечения устойчивого производства необходимо учитывать данные факторы и исследовать новые методы.

**Ключевые слова:** водород, риформинг, электролиз, газификация угля, методы производства, экологичность, эффективность.

## **ANALYSIS OF HYDROGEN PRODUCTION METHODS IN THE FIELD OF INDUSTRY**

Kenchadze Oleg A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

olegkencadze@gmail.com

This article analyzes the main methods of producing hydrogen in the field of industry, namely reforming, electrolysis and gasification of coal. Each method has its own characteristics, advantages and disadvantages. The choice of the optimal method depends on many factors, such as the availability of raw materials, environmental requirements, cost, etc. To ensure sustainable production, it is necessary to take these factors into account and explore new methods.

**Keywords:** hydrogen, reforming, electrolysis, coal gasification, production methods, environmental friendliness, efficiency.

В современном мире, при увеличении мирового потребления энергии и растущем количестве экологических проблем, наиболее перспективным и экологически чистым источником является водород, так как его сгорание не приводит к образованию вредных выбросов в атмосферу [4]. В связи с этим, исследование методов получения водорода актуально в сфере промышленности. Целью исследования является анализ существующих и перспективных методов получения водорода, а также выявление их преимуществ и недостатков. Необходимо определить направления для дальнейшего исследования и развития.

Ежегодное производство водорода в мире составляет примерно 368 трлн м<sup>3</sup> [5], при этом 50% количества производится путем парового риформинга природного газа. Существует три основных пути производства водорода, такие как риформинг из углеводородов, электролиз и газификация угля [3]. Далее рассмотрим каждый из методов и определим, как положительные, так и отрицательные стороны.

Большую промышленную популярность получила технология под названием «риформинг», что составляет примерно 96% всего производства водорода. Данный процесс происходит при высоких значениях давления и температуры основываясь на кристаллической реакции превращения метана с водяным паром. Процесс парового реформинга метана выполняется в две стадии, первая - эндотермическая каталитическая реакция, в результате которой метан и водяной пар преобразуются в смесь водорода и монооксида углерода в присутствии катализатора, а вторая - преобразование монооксида углерода в диоксид углерода для дополнительного выделения водорода. Такое разделение дает возможность повысить эффективность, способствуя более полному преобразованию веществ в конечный продукт. К преимуществам можно отнести: высокую эффективность и производительность, легкодоступность исходного сырья (природный газ), использование в качестве источника тепла для генерации пара [1]. Однако, происходит выделение углекислого газа, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду, а также затраты на катализаторы и оборудование достаточно высокие.

Следующий метод – электролиз, который включает использование трех типов электролизеров. Различия в температурных характеристиках: щелочной и протонообменный мембранный электролизеры являются низкотемпературны, а твердооксидный электролизер, наоборот высокотемпературный. Электролиз воды является передовой технологией в области альтернативной энергетики, что подтверждается разработкой домашних водородных станций, например, компанией Honda, для использования в заправке водородных автомобилей. Этот метод экологически чистый и безопасный, низкотратный на воду. Но существуют и недостатки: высокие энергозатраты на производство электричества, низкая эффективность преобразования энергии, около 70%, а также необходимость хранения и транспортировки водорода.

Водород может производиться из угля с использованием различных процессов газификации, включая высокотемпературные процессы в потоке, что позволяет максимизировать превращение угля в газ и снизить побочные реакции, которые могут привести к образованию легковоспламеняющихся смол и фенолов. Процесс происходит при температурах от 1200 до 1350 градусов Цельсия - реакция является эндотермической, то есть требует подвода тепла из внешних источников [2]. Газификации угля менее экологична, поскольку в качестве сырья используется уголь, добыча которого приводит к выбросу большего количества вредных веществ, по сравнению с природным газом.



Рассмотрев три основных метода производства водорода, можно сделать вывод о том, что риформинг - широко используемый и экономически эффективный, но вызывает выбросы парниковых газов. Электролиз - безотходный, но требует много энергии. Газификация угля менее экологически чиста и сопоставима по стоимости с риформингом. Выбор оптимального способа производства водорода должен учитывать экономические и экологические аспекты, для образования и поддержания устойчивого и эффективного производства.

### **Источники**

1. Белый Ю. И., Терегулов Т. А. Водородная энергетика: преимущества и недостатки // Вопросы философии. 2016. № 12. С.8
2. Дуников, Д.О. Водородные энергетические технологии / Д.О. Дуников // Водородные энергетические технологии: Материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН: сборник научных трудов. –2017. – С. 5–21
3. Методы получения водорода в промышленном масштабе. Сравнительный анализ, Шафиев Д.Р., Трапезников А.Н., Хохонов А.А., Агарков Д.А., Бредихин С.И., Чичиров А.А., Субчева Е.Н., Успехи в химии и химической технологии. 2020. Т. 34. № 12 (235). С. 53-57
4. Серебряков И.М. Анализ развитости технологии получения водорода методом электролиза воды // Мировая наука. 2023. №5 (74).
5. Тарасов Б. П., Лотоцкий М. В., Яртысь В. А. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулялирования водорода //Российский химический журнал. – 2016. – Т. 50. – №. 6

УДК 629.039.58

## **ПРОБЛЕМА СПОНТАННОГО ТРИГГЕРИНГА ПАРОВОГО ВЗРЫВА ПРИ КОНТАКТЕ КАПЕЛЬ ГОРЯЧЕГО РАСПЛАВА С ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ**

Лавриков Василий Андреевич  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
vasiliylavricov@mail.ru

В статье рассматривается проблема спонтанного инициирования парового взрыва, возникающего при контакте расплавленного кориума с теплоносителем первого контура. Выявлены основные сложности, связанные с изучением парового

взрыва. Проанализированы теоретические и практические данные, полученные как отечественными, так и зарубежными исследователями в области парового взрыва, а также возможные риски, связанные с внезапным возникновением парового взрыва на АЭС.

**Ключевые слова:** паровой взрыв, триггеринг, паровая пленка, радиоактивный расплав.

## **THE PROBLEM OF SPONTANEOUS TRIGGERING OF STEAM EXPLOSION IN CONTACT OF HOT MELT DROPS WITH COOLANT IN A NUCLEAR REACTOR**

Lavrikov Vasily A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vasiliylavricov@mail.ru

The article discusses the problem of spontaneous initiation of a steam explosion that occurs when molten corium comes into contact with the primary coolant. The main difficulties associated with the study of steam explosion have been identified. Theoretical and practical data obtained by both domestic and foreign researchers in the field of steam explosion, as well as possible risks associated with the sudden occurrence of a steam explosion at a nuclear power plant, are analyzed.

**Keywords:** steam explosion, triggering, steam film, radioactive melt.

С таким явлением, как паровой взрыв, человечество сталкивается в различных отраслях промышленности, данный вопрос также особенно актуален для атомной энергетики, так как паровой взрыв значительно ограничивает технические возможности по ликвидации тяжелых аварий на АЭС, связанных с расплавлением активной зоны и контактом кориума с теплоносителем [1].

С проблемой парового взрыва тесно переплетаются такие явления, как пленочный и пузырьковый режимы кипения, а также вопросы их устойчивого существования. Благодаря различным исследованиям этих явлений как нашими, отечественными учеными, так и зарубежными, были получены данные, необходимые для корректного описания и моделирования данной проблемы.

Наиболее вероятным сценарием взаимодействия кориума с водой является их контакт при тяжелых авариях, связанных с расплавлением активной зоны и дальнейшим продвижением смеси  $UO_2$ ,  $ZrO_2$ , Zr и стали к нижней части реактора, и ее последующим взаимодействием с водой [2].

Для изучения степени разрушительного влияния парового взрыва в атомном реакторе проводились различные исследования и эксперименты, такие как KROTOS (Италия), TROI (Южная Корея), НПО «Луч» (СССР). Исходя из информации, полученной благодаря данным экспериментам, можно заключить следующее: во-первых, мощность парового взрыва в значительной степени зависит от материалов расплава, к примеру, наиболее мощные взрывы зафиксировали у  $Al_2O_3$ , коэффициент конверсии которого достигал 3%, при этом имитированный расплав кориума имел коэффициент конверсии в среднем 0,4% и потому взрыв был менее мощным; во-вторых, сильное влияние на мощность парового взрыва оказывают температура расплава (чем она ближе к температуре насыщения, тем меньше вероятность возникновения самопроизвольного парового взрыва) и давление окружающей среды (чем больше давление, тем меньше вероятность самопроизвольного парового взрыва, однако при этом мощность возможного взрыва значительно увеличивается) [3].

Таким образом, несмотря на то, что коэффициент конверсии у изучаемого искусственного кориума небольшой, с учетом рабочего давления в корпусе ВВЭР-1000 в 16 Мпа и температурой теплоносителя на входе в реактор в 565 К, исходя из опытов TROI и KROTOS можно предположить, что при массе кориума от 10/11 кг, температуре от приблизительно 3000 К, диаметром струи расплава от 50 мм давление, которое может возникнуть в случае парового взрыва может достигать 25 Мпа. Подобное давление может привести к разрушению корпуса реактора, осколки которого могут разлететься в разные стороны и повредить другое оборудование.

Однако, несмотря на возможные последствия крупномасштабного парового взрыва на АЭС, проведенные в 80-90-х годах группой американских экспертов исследования SERG-1 (Steam Explosion Review Group) и SERG-2 показали, что одновременное стечение всех условий, необходимых для возникновения мощного парового взрыва с высвобождением энергии порядка 7 ГДж, крайне маловероятно [4]. Из этого можно сделать вывод, что разрушение реактора в результате парового взрыва большого значения для безопасности АЭС не имеет, даже с учетом оставшихся неопределенностей в данном вопросе.

## Источники

1. Паровой взрыв: экспериментальные наблюдения стадии спонтанного триггеринга процесса / А. В. Клименко, С. Н. Вавилов, Н. В.

Васильев [и др.] // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. – 2022. – Т. 503, № 1. – С. 13-16. – DOI 10.31857/S2686740022010084. – EDN LUSMWD (дата обращения: 11.02.2024).

2. Поведение паровой пленки на сильно перегретой поверхности, погруженной в недогретую воду // Math-Net URL: <https://www.mathnet.ru/links/4f71343f0c112f3d441770972ddb1905/tvt1230.pdf> (дата обращения: 11.02.2024).

3. Гидродинамика и теплофизика паровых взрывов // ИПМех РАН URL: <https://ipmnet.ru/~yakush/files/%D0%92.%D0%98.%D0%9C%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%85%D0%BE%D0%.pdf> (дата обращения: 11.02.2024).

4. Сафонов, А. В. О роли механизма "парового взрыва" в техногенных катастрофах на объектах ядерной энергетики / А. В. Сафонов, М. В. Кузнецов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – № 1(9). – С. 388-390. – EDN OVHLER.

УДК 621.165

## **РЕЖИМЫ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБОУСТАНОВКИ Т-110/120-12,8-5**

Литвиненко Александр Евгеньевич

Науч. рук. доц. Закиров Р.Н.

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

versusssss@mail.ru

Описание паровой турбины Т-110/120-12,8-5. Исследование режимов работы турбоустановки в зависимости от теплофикационной нагрузки. Влияние температуры наружного воздуха на тепловую нагрузку и КПД турбоустановки.

**Ключевые слова:** паровые турбины, режимы работы, тепловая нагрузка, теплофикационное оборудование.

## **OPERATING MODES OF HEATING TURBO INSTALLATION T- 110/120-12.8-5**

Litvinenko Alexander E.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Description of the steam turbine T-110/120-12.8-5. Study of turbine unit operating modes depending on heating load. The influence of outside air temperature on the thermal load and efficiency of a turbine unit.

**Keywords:** steam turbines, operating modes, heat load, heating equipment.

Паровая турбина Уральского турбинного завода Т-110/120-12,8-5 обладает номинальной мощностью 110 МВт, является теплофикационной с двумя регулируемыми отборами на теплоснабжение и отборами пара на регенеративный подогрев питательной воды. Турбоустановка состоит из трех цилиндров разного давления: ЦНД, ЦСД, ЦВД, которые установлены на одном валу ротора генератора. В турбине предусмотрен двухступенчатый подогрев сетевой воды, давление пара в отборах поддерживается регулирующими диафрагмами. Полная длина турбоагрегата составляет 18,574 м. Ступенчатый подогрев сетевой воды двумя отопительными отборами пара на сетевые подогреватели ПСГ-1, ПСГ-2. Данная турбина имеет четыре основные модификации: Т-116/125-130-7, Т-118/125-130-8, Т-120/130-130-14, ТР-110.

Турбоустановка имеет два основных теплофикационного режима работы: режимы работы по электрическому графику с теплофикационными отборами и режимы работы по тепловому графику [1].

Режимы работы по тепловому графику характеризуются тем, что вся остаточная теплота отработавшего пара должна перейти к тепловому потребителю, соответственно электрическая мощность определяется тепловой нагрузкой. Электрическая энергия в таком случае должна отдаваться в достаточно мощную электрическую систему.

Турбоустановка, работающая по электрическому графику с теплофикационными отборами, вырабатывает электрическую энергию в независимости от тепловой нагрузки. Для повышения выработки электрической энергии увеличивают расход пара в конденсатор. При этом, как правило, экономичность турбоустановки падает, так как остаточная теплота отработавшего пара в турбине отдается циркуляционной воде. Для того чтобы снизить потери в экономичности, в конденсаторе устанавливают теплофикационные пучки, через которые может нагреваться подпиточная или сетевая вода, тем самым снижая термодинамические потери.

Выбор режима работы турбоустановки также зависит от тепловой нагрузки. Она в свою очередь определяется температурой наружного воздуха на данный период времени. Чем выше температура наружного воздуха, тем ниже тепловая нагрузка. В летний сезон температура воздуха максимальна, соответственно тепловая нагрузка станции минимальна, поэтому в этот период турбина работает по электрическому графику. Таким образом, экономичность турбоустановки в летний период ниже, чем в зимний.

Были проведены исследования зависимости электрического КПД турбоустановки Т-110/120-12,8-5 от температуры наружного воздуха [2]. По результатам исследования было выявлено, что максимальный КПД турбоустановки достигается при температуре воздуха - 12°C. При дальнейшем понижении температуры окружающей среды и увеличении потребности в тепловой энергии, на станциях включают пиковые водогрейные котлы, на которые требуется сжигание дополнительного топлива, что понижает экономичность турбоустановки [3].

Режимы работы и теплопроизводительность сетевых подогревателей определяется теплофикационной нагрузкой, параметрами пара отбора турбины и расходом сетевой воды в теплосети [4]. Различают два основных режима работы сетевых подогревателей: в отопительный период и в летний. На турбину установлены горизонтальные сетевые подогреватели, с такой тепловой мощностью, которая способна обеспечивать всю тепловую нагрузку даже при работе только одного из них.

### **Источники**

1. Галашов Н.Н. Режимы работы и эксплуатация ТЭС. Томский политехнический университет. 2013.
2. Магадеев А.М. Расчет энергоблока на базе паротурбинной установки т-110/120-130 при различной температуре наружного воздуха. Уфимский государственный авиационный технический университет. 2022.
3. Березин М.Б., Шаломов В.И. Эффективность способа повышения тепловой экономичности турбоустановок семейства Т-100. Комсомольский-на-Амуре государственный университет. 2020.
4. Великович В.И., Бродов Ю.М., Ниренштейн М.А. Подогреватели сетевой воды теплофикационных паротурбинных установок Уральского турбинного завода. Уральский государственный технический университет-УПИ. 2019.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО КПД УСТАНОВКИ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ (РИФОРМИНГА) СЛОЖНОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА**

Майоров Егор Сергеевич

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Филимонова Антонина Андреевна

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

mes.tegatu@gmail.com

В статье предложен расчет эксергетического КПД, основанный на выведенной формуле и построенной математической модели процесса паровой конверсии (риформинга) сложного углеводородного топлива в пространстве для создания математических моделей химических процессов ASPEN PLUS.

**Ключевые слова:** паровой риформинг, математическая модель, эксергетический КПД, эксергия, ASPEN PLUS.

## **DEFINITION OF THE EXERGETIC EFFICIENCY OF A COMPLEX HYDROCARBON FUEL STEAM CONVERSION (REFORMING) PLANT**

Mayorov Egor Sergeevich

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

mes.tegatu@gmail.com

The article proposes the calculation of exergetic efficiency, based on a derived formula and a constructed mathematical model of the process of steam reforming of complex hydrocarbon fuel in the space for creating mathematical models of chemical processes using ASPEN PLUS.

**Keywords:** steam reforming, mathematical model, exergetic efficiency, exergy, ASPEN PLUS.

На сегодняшний день, проблема роста потребления органического топлива является одной из важнейших в различных областях хозяйства, из-за чего все чаще начинают применять различные установки по переработке отходов промышленности, для выделения из них компонентов, пригодных для повторного использования в технологической схем. Отходами с

наибольшим потенциалом (высоким содержанием пригодных для экстракции компонентов) являются отходы химической и энергетической отраслей.

В составе отходов химической и энергетической промышленности присутствует большое количество углеводородов различных уровней. Именно эти компоненты представляют наибольшую ценность, так как при использовании определенных технологий имеется возможность преобразовать их в водород, пригодный для дальнейшего использования в различных энергетических системах [1-3].

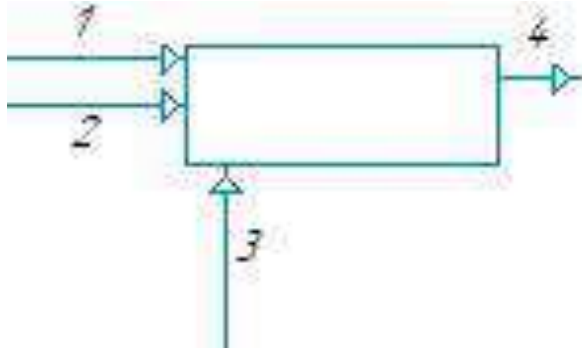
Рассмотрим процесс парового риформинга. Данный процесс происходит при температурах 800-1200С и давлении 10-15 атмосфер. Сам процесс является эндотермическим, а значит будет происходить поглощение тепла в процессе протекания реакции. Для поддержания температуры в заданном диапазоне требуется производить нагрев риформера, а также подогреть топлива и перегрев пара.

Одним из основных критериев эффективности работы системы является ее эксергетический КПД – характеристика, показывающая потери энергии в системе. В данном процессе помимо потерь энергии в окружающую среду будут присутствовать потери энергии из-за неполной конверсии водорода, а также, в случае с использованием горелочных устройств для подогрева риформера, из-за потерь вследствие химического недожога, механического недожога, а также потерь тепла с уходящими газами. В случае с электрическим нагревом потерь меньше.

Для расчета эксергетического КПД требуется сформировать эксергетическую схему, а также рассчитать энергию, требуемую для протекания процесса. Энергия была рассчитана в математической модели паровой конверсии сложного углеводородного топлива, построенной в пространстве для математического моделирования химических и технологических процессов ASPEN PLUS. По результатам моделирования было определено, что для процесса паровой конверсии при заданных условиях: расход топливного газа и пара – 0.2 кг/с и 0.7 кг/с соответственно, температура пара на входе - 434 С, температура топлива на входе – 400С, требуется подводить энергию в размере  $Q = 3.63$  МВт.

На рисунке представлена эксергетическая схема реактора паровой конверсии.





### Эксергетическая схема реактора паровой конверсии

На основе сформированной схемы, был сформирован энергетический баланс процесса:

$$0.9 * \sum_{i=1}^i Q_{ni}^{p.c-\Gamma} \times x_i + 0.9(1000 - 20) \times \sum_{i=1}^i c_i^{c-\Gamma} \times x_i = 0.2 * \sum_{i=1}^i Q_{ni}^{p.m-\Gamma} \times x_i + 0.7 H_{H_2O} + 0.2(400 - 20) \times \sum_{i=1}^i c_i^{c-m} \times x_i + Q$$

где –  $Q_{ni}^{p.c-\Gamma}$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го элемента в составе синтез-газа,  $x_i$  – массовая доля  $i$ -го элемента в составе синтез-газа,  $Q_{ni}^{p.T-\Gamma}$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го элемента в составе топливного газа,  $c_i^{c-\Gamma}$  – удельная теплоемкость  $i$ -го элемента в составе синтез-газа,  $c_i^{T-\Gamma}$  – удельная теплоемкость  $i$ -го элемента в составе топливного газа,  $H_{H_2O}$  – энтальпия воды,  $Q$  - теплота, подведенная к риформеру.

Согласно проведенным расчетам, равенство сохраняется, что говорит о правильности составленного выражения. Определение же эксергетического КПД подразумевает собой определение основных потерь в системе.

Основными потерями в системе будут является потери в окружающую среду в размере 10% процентов от общего количества подведенной энергии, а также потери, за счет неидеального процесса парового риформинга (паровой конверсии) топлива. Потери появляется в результате неполного преобразования углеводородов в водород, что уменьшает химическую энергию синтез-газа. Согласно литературе, эффективность парового риформинга находится в диапазоне от 85 – 99.7%. Для определения потерь энергии за счет неполной конверсии углеводородов примем эффективность процесса конверсии равной 95% и проведем перерасчет выходного состава синтез-газа.

В результате перерасчета состава синтез-газа и введения потерь в окружающую среду был определен эксергетический КПД системы, который составил 83,6%.

## Источники

1. Майоров, Е.С. Структура системы паровой риформинг-топливный элемент и её вариации / Е. С. Майоров // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация": Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26–28 апреля 2023 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 114-117. – EDN LPMZAU

2. Базин, Д.А. Варианты использования тепловой энергии топливного элемента / Д. А. Базин // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация": Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26–28 апреля 2023 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 18-21. – EDN VTTLNS.

3. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова НД., Печенкин А.В. Риформинг углеводородного топлива в электрохимических системах (обзор) // Теплоэнергетика. – 2023. – № 8. – С. 75-85. – DOI 10.56304/S0040363623080027. – EDN FEMHAG.

УДК 621.311.6

## СПОСОБЫ БЕЗОПАСНОГО ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

Макуева Дилара Ахлимановна <sup>1</sup>, Разакова Регина Иршатовна <sup>2</sup>

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Чичиров Андрей Александрович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>dil.avp@mail.ru

Водородное топливо представляет собой прекрасную альтернативу ископаемым видам энергии, таким как нефть и газ. На практике, водород может использоваться в широком спектре отраслей народного хозяйства – от автомобильной промышленности до энергетики и бытового использования. Возможность заправки автомобиля за считанные минуты и отсутствие выбросов вредных веществ делают водородные автомобили экологически безопасными и эффективными средствами передвижения. В статье рассмотрены методы безопасного хранения водородного топлива.

**Ключевые слова:** водород, пожарная безопасность, хранение водорода, топливо.

## METHODS FOR SAFE STORAGE OF HYDROGEN FUEL

Makueva Dilara A. <sup>1</sup>, Razakova Regina I. <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>dil.avp@mail.ru

Hydrogen fuel is an excellent alternative to fossil energies such as oil and gas. In practice, hydrogen can be used in a wide range of sectors of the national economy - from the automotive industry to energy and domestic use. The ability to refuel a car in a matter of minutes and the absence of harmful substances make hydrogen cars environmentally friendly and efficient means of transportation. The article discusses methods for the safe storage of hydrogen fuel.

**Keywords:** hydrogen, fire safety, hydrogen storage, fuel.

Возможности водородного топлива как альтернативного источника в современном мире становятся все более ясными и привлекают все больше внимания производителей и потребителей. Водород – самый легкий элемент в таблице Менделеева и обладает высокой энергетической плотностью (0,09 кг/м). Более того, при сжигании в водородных двигателях происходит только образование водяного пара, что делает его безвредным для окружающей среды.

Так, например, в России распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162-р утверждена Концепция развития водородной энергетики, которая подразумевает создание нормативной правовой базы в области безопасности объектов водородной энергетики, в частности для объектов инфраструктуры транспорта на водородном топливе [1]. Наряду с этим, утвержден комплекс, состоящий из восьми стандартов в области автотранспорта на водородном топливе. Один из стандартов ГОСТ Р 70679–2023 «Автомобильные транспортные средства на водородных топливных элементах. Порядок обеспечения общей безопасности» устанавливает требования пожарной безопасности по отношению к методам хранения водорода [2].

Применение H<sub>2</sub> позволяет снизить зависимость стран от импорта нефти и газа, а также развивать собственные стратегии в области топливной энергетики.

Безопасность водородного топлива является важным аспектом при его производстве, хранении и непосредственном использовании. Водород является легковоспламеняющимся газом, поэтому при его эксплуатации требуется особая осторожность [3].

Для обеспечения безопасности использования водородного топлива в автомобилях и других устройствах, также существуют многочисленные меры предосторожности, включающие в себя использование специальных датчиков для обнаружения утечек, системы противопожарной защиты, а также разработку конструкции, устойчивой к воздействию водорода [4].

Хранение водорода в газообразном виде подразумевает повышение его давления до 35 МПа, в редких случаях до 70 МПа [5].

Резервуары для хранения изготавливают из волокнистых композиционных материалов, созданных для уменьшения массы конструкции. Внутреннюю оболочку делают из нержавеющей стали, алюминия, и обкручивают стеклянными или волокнистыми волокнами [3]. Для пожарной безопасности на территории хранения водородного топлива, материал резервуаров должен соответствовать ИСО 16528-1.

Жидкий водород ( $\text{жH}_2$ ) находится в очень узком интервале температур от точки кипения (20,28 К) до точки замерзания (14,01 К). Для предотвращения перехода жидкого водорода в иное агрегатное состояние, должны соблюдаться все требования к материалам по хладостойкости, а также поддерживаться постоянное охлаждение и теплоизоляция оборудования [5]. Транспортировка  $\text{жH}_2$  производится в криогенных цистернах вместимостью 25 и 45 м<sup>3</sup>. Еще одна проблема хранения и перевозки  $\text{жH}_2$  заключается в его испарении.

Утечки водорода из элементов водородного оборудования - частая причина возникновения аварийных ситуаций, поскольку водород способен образовывать с воздухом взрывоопасные смеси. Оборудование, предназначенное для хранения и использования водорода, должно обладать высокой степенью герметичности.

## Источники

1. Гордиенко, Д. М. Пожарная безопасность объектов инфраструктуры транспорта на водородном топливе / Д. М. Гордиенко, Ю. Н. Шебеко // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – Т. 31, № 2. – С. 41-51. – DOI 10.22227/0869-7493.2022.31.02.41-51.

2. АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ – ПЕРВЫЕ СТАНДАРТЫ // РОССТАНДАРТ URL:

[https://www.gost.ru/portal/gost/home/presscenter/news/activity//documentManager/rest/file/load/1589566243203?portal:isSecure=true&navigationalstate=JBPNS\\_rO0ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVOZXdzVmlldwACaWQAAAABAAQ5MTMzAAdfX0VPRl9f&portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16](https://www.gost.ru/portal/gost/home/presscenter/news/activity//documentManager/rest/file/load/1589566243203?portal:isSecure=true&navigationalstate=JBPNS_rO0ABXczAAZhY3Rpb24AAAABAA5zaW5nbGVOZXdzVmlldwACaWQAAAABAAQ5MTMzAAdfX0VPRl9f&portal:componentId=88beae40-0e16-414c-b176-d0ab5de82e16) (дата обращения: 07.03.2024).

3. Бондаренко, С. Д. Теплофизические и транспортные свойства жидкого и газообразного водорода / С. Д. Бондаренко. – Gatchina : Изд-во ПИЯФ РАН, 2004. – 31 р. – (Preprint/ Russ. acad. of sciences, Petersburg nuclear physics inst.).

4. Домашенко, А. М. Взрывопожароопасность при создании и эксплуатации промышленных систем получения, хранения и транспортирования жидкого водорода. Методы обеспечения защиты / А. М. Домашенко, А. В. Степанов // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2022. – № 2(51). – С. 211-220.

5. Розов, И. В. Обзор и анализ способов хранения водородного топлива на транспортных средствах / И. В. Розов, С. В. Титов // Актуальные вопросы автомобильного транспорта (Ават-2022) : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Барнаул, 15–16 декабря 2022 года. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. – С. 26-30.

УДК 697.9

## **РЕКУПЕРАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ МКД**

Миниханова Алия Рунаровна

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Зиганшин Малик Гарифович

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

minihanova2002@gmail.com

Целью исследования является повышение энергоэффективности работы вентиляции многоквартирного дома (МКД) путем использования рекуператоров, что может обеспечить снижение оплаты за отопление жителей МКД.

**Ключевые слова:** вентиляция, многоквартирный дом, рекуператор, рекуперация, окупаемость рекуператоров, воздухообмен, энергосбережение.

## **THERMAL ENERGY RECOVERY IN VENTILATION SYSTEMS OF AN APARTMENT BUILDING**

Minikhanova Aliya R.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
minihanova2002@gmail.com

The purpose of the study is to increase the energy efficiency of the ventilation of an apartment building through the use of recuperators, which can provide a reduction in heating bills for residents of an apartment building.

**Keywords:** ventilation, apartment building, recuperator, recovery, payback of recuperators, air exchange, energy saving.

Воздухообмен в здании является сложным процессом. Многоквартирные дома (далее МКД) оснащаются, как правило, системами естественной вентиляции. Она основана на использовании разности давления между воздухом внутри и снаружи здания. Основными элементами такой системы являются окна и вентиляционные форточки для поступления свежего воздуха в помещения, а также каналы или шахты, через которые осуществляется отвод отработанного воздуха [1]. Естественная вентиляция сочетает в себе экологичность, экономичность, энергонезависимость и простоту в эксплуатации [2]. Существуют и недостатки такого типа вентиляции: зависимость от погодных условий, ограниченные возможности регулирования воздухообмена в различных помещениях [3]. Также с отработанным воздухом удаляется и теплота, полученная им от системы отопления данного помещения. Поэтому целесообразно установить систему рекуперации тепла [4], а энергосбережение на отопление позволило бы в определенной степени компенсировать расходы и на механическую вентиляцию. Такая система одновременно повысила бы надежность воздухообмена в помещениях, что важно вследствие повсеместного применения герметичных окон. Однако в МКД рекуперация и механическая вентиляция практически не используются.

Есть два основных типа систем механической вентиляции с рекуперацией – это центральная система вентиляции с рекуперацией и использование настенных мини-рекуператоров [5].

Принцип работы центральной системы: устанавливаются воздуховоды (для притока и вытяжки) и вентиляционные устройства для подачи свежего воздуха в жилые здания по воздуховодам. Загрязненный воздух удаляется из помещения таким образом, чтобы он не смешивался с подаваемым воздухом. Требуется дополнительное оборудование.

Принцип работы настенного: вентилятор последовательно забирает свежий воздух с улицы и подает его в помещение, а затем выводит загрязненный воздух на улицу. При этом теплый воздух из помещения проходит через теплообменник рекуператора. В этом процессе наружный воздух нагревается в холодное время года и охлаждается в летнее. При этом мини-рекуператор обеспечивает необходимый воздухообмен в только отдельном помещении.

Расчеты, проведенные для односекционного 7-этажного жилого дома, показали, что требуемый по нормативам [6] расход воздуха на 1 квартиру составляет 125 м<sup>3</sup>/ч, на один этаж (на 4 квартиры) – 500 м<sup>3</sup>/ч, и на секцию – 3500 м<sup>3</sup>/ч. Такой производительности соответствуют следующие модели рекуператоров: мини-рекуператор VAKIO Smart (до 120 м<sup>3</sup>/ч); приточно-вытяжная вентиляционная установка с рекуперацией тепла General Climate GX 800 K3 PE AUTO (до 1200 м<sup>3</sup>/ч). На одну секцию можно установить 3 центральных рекуператора с общей стоимостью около 1 млн руб. При поквартирной установке мини-рекуператоров их общая стоимость составит приблизительно 2,3 млн руб. (70 рекуператоров на одну секцию дома). Расходы на электроэнергию за месяц от одного квартирного рекуператора VAKIO Smart составляют 3500 руб., и окупаемость установки наступит на 10-ый год эксплуатации. В тоже время расходы на электроэнергию для центрального рекуператора General Climate GX 800 K3 PE AUTO составят 104 тыс. руб., и окупаемость установки наступит на 11-ый год.

Таким образом, использование квартирных установок рекуперации тепла в МКД может способствовать энергосбережению при приемлемых экономических затратах. При этом они позволяют одновременно обеспечить надежность нормативного воздухообмена в помещениях на основе механической вентиляции.

### Источники

1. Миниханова А.Р., Зиганшин М.Г. Эффективность вентиляции многоквартирного дома // Приборостроение и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ. - Казань: КГЭУ, 2024. - С. 45-48.
2. Беляков И.А., Коврина О.Е. Совершенствование систем естественной вентиляции многоэтажных жилых зданий // Инженерный вестник Дона. - 2023. - №6(102).
3. Фатуллаева К.М. Конструирование систем вентиляции в жилых многоэтажных домах // Системные технологии 2. - 2023. - №47. - С. 123-130.

4. Климович С.В., Янцевич И.В. Решения для естественной вентиляции многоквартирных домов с потенциалом энегосбережения // Информационные технологии в политических, социально-экономических и технических системах. - Минск: БНТУ, 2023. - С. 226-231.

5. Бузуверова А. С., Морева Ю. А. Способы климатизации современных жилых зданий // Инновационные механизмы решения проблем научного развития. - Уфа: OMEGA SCIENCE, 2021. - С. 14-16.

6. «СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003» от 30.12.2020.

УДК 628.3

## УТИЛИЗАЦИЯ И ОЧИСТКА ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Миниханова Алия Рунаровна

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Власова Алена Юрьевна

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

minihanova2002@gmail.com

В работе рассмотрены перспективные решения утилизации твердых отходов очистных сооружений хозяйственно-бытового стока, от чего зависит качество жизни человека и окружающая среда.

**Ключевые слова:** вода, водоочистка, очистные сооружения, хозяйственно-бытовой сток, сточные воды.

## DISPOSAL AND TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATER

Minikhanova Aliya R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

minihanova2002@gmail.com

The work examines promising solutions for the disposal of solid waste from municipal wastewater treatment plants, on which the quality of human life and the environment depend.

**Keywords:** water, water treatment, treatment facilities, domestic wastewater, wastewater.

Сточные воды - это воды, загрязненные в результате деятельности человека, направленной на улучшение условий жизни [1]. Хозяйственно-



бытовые сточные воды содержат в себе органические вещества растительного и животного происхождения, отходы жизнедеятельности, моющие средства. Такие воды являются сильно загрязненными, так как содержат более сотни видов микроорганизмов. Качественная очистка хозяйственно-бытового стока представляет собой серьезную проблему. Чтобы вода обратно стала чистой и вернулась в природу или же повторно использовалась человеком, ей необходимо пройти современные стадии обработки сточных вод на очистных сооружениях.

В основном на очистных сооружениях применяют биологическую очистку [2]. Этот метод основан на использовании микроорганизмов, которые разлагают органические вещества, содержащиеся в сточных водах. Биологическая очистка может осуществляться в аэробных и анаэробных условиях (аэротенки, биофильтры) [3]. Другим распространенным методом очистки сточных вод хозяйственно-бытовой канализации является механическая очистка. Этот метод основан на удалении из сточных вод твердых частиц путем фильтрации, отстаивания или флотации. Механическая очистка может осуществляться в решетках, песколовках, отстойниках и других сооружениях. Также для очистки сточных вод могут использоваться физико-химические методы очистки (например, коагуляция, флокуляция). После биологической, механической и физико-химической очистки сточные воды могут подвергаться доочистке (фильтрация, сорбция, озонирование, ультрафиолетовое обеззараживание и т.д.) [4].

В результате очистки сточных вод в специальных сооружениях образуются следующие продукты:

1) Очищенная вода. Очищенная вода может быть сброшена в водоемы без вреда для окружающей среды или использована человеком повторно при соблюдении всех требований к показателям качества;

2) Осадок сточных вод (иловый осадок). Представляет собой твердую или полутвердую массу, состоящую из органических (до 80%) и минеральных (до 20%) веществ;

3) Шлам. Шлам представляет собой смесь осадка сточных вод и других материалов (например, песок, гравий), который образуется в процессе сгущения и обезвоживания осадка сточных вод.

Осадок с очистных сооружений имеет высокую концентрацию загрязняющих веществ и требует специальной обработки или утилизации. Так, утилизировать осадок можно путем перерабатывания его в MSF-топливо – технология многокомпонентного твердого топлива. Это разновидность искусственного энергетического твердого топлива,

получаемого из различных материалов, в нашем случае из илового осадка сточных вод. Процесс получения включает в себя сушку, гранулирование и другие технологические процессы [5]. Многокомпонентное твердое топливо может быть использовано для производства энергии, например, в котельных или энергетических установках, в качестве гранулята или брикетов. Данная технология позволяет сократить количество отходов, способствует восстановлению энергетических ресурсов, и снижает негативное воздействие на окружающую среду.

В процессе анаэробного сбраживания осадка сточных вод образуется смесь метана и углекислого газа, представляющая собой биогаз. Он может быть использован в качестве топлива для производств.

Другим методом утилизации осадка является использование его в качестве органоминеральных удобрений в сельском хозяйстве, так как осадок содержит в себе азот, фосфор, калий и другие микроэлементы, которые необходимы для роста растений.

Таким образом, в результате очистки бытовых сточных вод образуются различные продукты, которые могут быть использованы для различных целей. С каждым годом количество сточных вод увеличивается и прийти к одному конкретному методу утилизации твердых отходов не удастся. Целесообразно будет использование комплексных или комбинированных подходов утилизации.

### **Источники**

1. Хрусталева, Б. М., Пехота, А. Н., Вострова, Р. Н. Осадок сточных вод городских очистных сооружений – ресурсная сокровищница для предприятий ЖКХ // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте. - Минск: БНТУ, 2023. - С. 14-19.

2. Вертинский А.П. Современные методы очистки сточных вод: особенности применения и проблематика // Инновации и инвестиции. - 2019. - №1. - С. 175-182.

3. Васильева А.В., Харламова М.Д. Современные способы переработки осадков сточных вод и перспективы их использования в России // Sciences of Europe. - 2016. - №9-1. - С. 27-34.

4. Алимпиев Г. П., Махов С. М. Использование современных аналитических методов для решения проблем фильтрации сточных вод // Научный аспект. - 2023. - №12. Том 26. - С. 3268-3276.

5. Миниханова А.Р. Получение гранулята путем утилизации илового осадка // XXVII Всероссийского аспирантско-магистерского научного

семинара, посвященного дню энергетика и 55-летию КГЭУ. - Казань: КГЭУ, 2023. - С. 434-437.

УДК 621.311.22

## РАСШИРЕНИЕ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-1

Миннебаев Рим Дамирович

Науч. рук. асс. Бабилов Олег Евгеньевич

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

rimtat99@gmail.com

Казанская ТЭЦ-1 играет важную роль как в энергосистеме г. Казани, так и всей Республики Татарстан. В данной работе проанализированы возможные способы расширения мощности станции, рассмотрены технические варианты и решения улучшения работы ТЭЦ и увеличения ее производительности.

**Ключевые слова:** тепловые электростанции, энергоснабжение, модернизация, энергетическая система.

## EXPANSION OF THE GENERATING CAPACITY OF KAZAN TPP-1

Minnebaev Rim D.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rimtat99@gmail.com

Kazan TPP-1 plays an important role both in the energy system of the city of Kazan and throughout the Republic of Tatarstan. The reasons to expand the power of the plant and technical options and solutions for improving the operation of the thermal power plant and increasing its productivity are analyzed.

**Keywords:** thermal power plants, energy supply, modernization, energy system.

В связи со стабильным ростом потребления тепловой и электрической энергии в Республике Татарстан важной задачей для энергетической безопасности региона и его дальнейшего устойчивого развития является необходимость увеличения генерирующей мощности электростанций [1].

На сегодняшний день двумя основными энергетическими компаниями Республики Татарстан являются АО «Татэнерго» и АО «ТГК-16». Основные генерирующие мощности Татарстана сосредоточены на десяти электрических станциях, из которых восемь тепловых и две гидроэлектростанции общей мощностью 8109 МВт. Помимо станций в республике также имеется свыше 3 тысяч котельных.

Установленная электрическая мощность АО «Татэнерго» на начало 2023 года составляет 5427,9 МВт, установленная тепловая мощность – 7525 Гкал/ч. В состав АО «Татэнерго» входят следующие электростанции: Казанская ТЭЦ-1 (453 МВт и 542 Гкал/ч); Казанская ТЭЦ- 2 (385 МВт и 877 Гкал/ч); Набережночелнинская ТЭЦ (1180 МВт и 4092 Гкал/ч); Заинская ГРЭС (2204,9 МВт и 145 Гкал/ч); Нижнекамская ГЭС (1205 МВт).

Установленная электрическая мощность АО «ТГК-16» на начало 2023 года составляет 1669,6 МВт, установленная тепловая мощность – 6136 Гкал/час. В состав энергопредприятия входят Казанская ТЭЦ-3 (789,6 МВт и 2390 Гкал/ч) и Нижнекамская ТЭЦ-1 (880 МВт и 3746 Гкал/ч). Также имеется 3 электростанции, не принадлежащие этим двум большим энергокомпаниям: Нижнекамская ТЭЦ-2 (725 МВт и 1580 Гкал/час); Карабашская ГЭС (300 кВт); ГТУ-75 «Нижнекамскнефтехим» (75 МВт и 132 Гкал/ч).

Выработка электроэнергии в Татарстане в 2022 году составила приблизительно 28,1 млрд кВт·ч, в то время как потребление электроэнергии составило приблизительно 33 млрд кВт·ч [2]. Можно сделать вывод, что на сегодняшний день в республике существует потребность в большей выработке электрической энергии, а также проблема морального износа и устаревания энергетического оборудования, которое нуждается в модернизации. По сравнению с 2022 годом, выработка электроэнергии электростанциями Татарстана за 2023 год осталась практически на таком же уровне – рост составил всего 0,4%. В то же время, согласно прогнозу СО ЕЭС, потребление электрической энергии в республике к 2028 году вырастет до 36,1 млрд кВт·ч, то есть на 9,4% [3].

Среди важнейших энергетических объектов Республики Татарстан стоит отметить казанскую ТЭЦ-1 (КТЭЦ-1), старейшую электростанцию, возведенную еще в 1933 году. Данное предприятие является поставщиком электроэнергии на оптовый рынок электрической энергии и мощности (ОРЭМ), источником тепловой энергии для системы централизованного теплоснабжения города, а также отпускает пар на близлежащие промышленные предприятия [4]. Казанская ТЭЦ-1 имеет установленную

электрическую мощность 453 МВт и тепловую –542 Гкал/ч (1102 Гкал/ч вместе с котельными «Азино» и «Горки-2»). Выработка электроэнергии на Казанской ТЭЦ-1 в 2022 году составила 2,05 млрд кВт·ч, а отпуск тепловой энергии достиг 2,65 млн Гкал.

В 2023 году наблюдался рост производства и потребления электроэнергии в Республике Татарстан, реализовывались программы энергосбережения и повышения энергоэффективности. Кроме этого, Казань развивается быстрыми темпами и непрерывно застраивается, в связи с чем также в ближайшие годы может возникнуть проблема дефицита тепловой мощности. Учитывая это, существует необходимость в расширении генерирующей мощности КТЭЦ-1. Основными направлениями расширения являются различные варианты модернизации устаревшего оборудования станции, а также внедрение нового оборудования и новых технологий. Учитывая тот факт, что ТЭЦ-1 отпускает пар на производство, для увеличения производительности станции возможен вариант присоединения теплофикационной турбины с производственным отбором и необходимого для нее вспомогательного оборудования.

Расширение генерирующей мощности Казанской ТЭЦ-1 имеет важное значение для устойчивого развития города и его экономики. Такие меры также способствуют улучшению энергетического баланса региона. В республике наблюдается тенденция к росту потребления электроэнергии, планируется расширение использования возобновляемых источников энергии, а также рассматривается вопрос обновления парка генерирующих мощностей.

### **Источники**

1. Чичирова Н.Д. Перспективы развития электрогенерации в Российской Федерации // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СУМГАИТ, 12–13 ноября 2020 года: Сумгаитский государственный университет. 2020. С. 10-17.

2. Прогнозирование роста энергопотребления в Татарстане [Электронный ресурс]. <https://www.kommersant.ru/doc/5826327> (дата обращения: 27.02.2024)

3. Потребление электроэнергии в Татарстане [Электронный ресурс]. <https://www.tatar-inform.ru/news/potreblenie-elektroenergii-v-tatarstane-k->

2028-godu-vyrastet-do-361-mlrd-kvtcasov-5893590 (дата обращения:  
26.02.2024)

4. Андреев И.А., Евгеньев И.В. Применение систем централизованного теплоснабжения //Наука и образование: новое время. 2019. №. 2. С. 41-47.

УДК 620.424.1

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН В СОСТАВЕ ПГУ**

Нуруллин Искандер Рифхатович

Науч. Рук. Асс. Бабиков Олег Евгеньевич

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

[gjkbndkkc@gmail.com](mailto:gjkbndkkc@gmail.com)

В настоящее время одним из наиболее эффективных способов модернизации турбоустановок на тепловых электростанциях является включение действующих паровых турбин в состав парогазовой установки. В данной работе рассматривается возможность использования турбины Тп-115/125-130 в составе парогазовой установки.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, паровая турбина, цикл ПГУ, тепловая схема.

## **ABOUT THE POSSIBILITIES OF USING STEAM TURBINES IN THE CCGT UNITS**

Nurullin Iskander R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[gjkbndkkc@gmail.com](mailto:gjkbndkkc@gmail.com)

Currently, one of the most effective ways to increase the generated electricity is to include steam turbines already installed in a combined cycle gas plant. In this paper, the possibility of using the Тр-115/125-130 turbine in combination with a CCGT is considered.

**Keywords:** combined cycle plant, steam turbine, CCGT cycle, thermal circuit.

В настоящее время энергетическая отрасль стремительно развивается, строятся новые электростанции, разрабатываются проекты новых атомных реакторов, вводятся в эксплуатацию новые энергоблоки АЭС, расширяется доля использования возобновляемых источников

энергии в общем энергобалансе страны. Однако существует весомое количество электростанций, имеющих в своем составе морально устаревшее оборудование и работающих с низкой эффективностью выработки тепловой и электрической энергии [1].

Одним из способов повышения эффективности ТЭЦ является модернизация станций путем объединения паровой и газовой турбины в составе ПГУ. Подобное комбинирование термодинамических циклов позволяет обеспечить более высокую экономичность станций.

В данной статье исследуется возможность использования теплофикационной турбины Тп-115/125-130 в составе парогазовой установки.

Турбина Тп-115/125-130 разработана на базе турбины Т- 110/120-130- 5 обладает номинальной мощностью в 115 МВт и частотой вращения 3000 об/мин. Данная турбина подходит для использования в циклах ПГУ, а именно в составе ПГУ-230 [2].

Парогазовая установка состоит из газоздушного и пароводяного трактов. В компрессор поступает очищенный воздух, после он сжимается и направляется в газотурбинную установку, где в камере сгорания происходит горение природного газа.

Продукты сгорания из камеры поступает в газовую турбину, которая преобразует тепловую энергию в механическую, используемую для привода электрогенератора. Отработавшие в турбине газы, обладают высокой температурой и теплосодержанием. Энергию уходящих газов целесообразно использовать в котле-утилизаторе. В нем происходит выработка пара высокого и низкого давления. Выработанный пар поступает в паровую турбину. Паровая турбина преобразует тепловую энергию пара в механическую работу, используемую для привода генератора. Из турбины часть пара отбирается на сетевые подогреватели для подогрева сетевой воды, а оставшийся пар направляется в конденсатор.

В составе ПГУ-230 предлагается использовать отечественную газовую турбину производства ОАО «Силовые машины» ГТЭ-160. Для получения электроэнергии используется электрический генератор ТЗФГ-160-2МУЗ. После газовой турбины возможно использовать паровой двухконтурный котел-утилизатор Е-208/50,1-7,55/1,19-467/274 (ПК-86), производства АО «ЗиО-Подольск», в котором передаётся энергия уходящих газов пароводяному циклу.

Наличие регулируемы отборов пара с турбины позволяют осуществлять отпуск тепловой энергии и поддерживать необходимый

температурный режим для потребителей. Также наличие системы регенерации существенно снижают потери тепла в окружающую среду.

К недостаткам можно отнести высокие требования к фильтрации воздуха. Также стоит отметить, что парогазовые установки имеют ограничения по типу используемого топлива, и проблематично произвести данную модернизацию для пылеугольных ТЭС. Соединение паровой турбины с газотурбинной установкой возможно только на станциях, работающих на природном газе в качестве основного топлива.

В литературе известны примеры успешной реализации проведения модернизации с включением паротурбинных установок в состав ПГУ [4]. К примеру, на Минской ТЭЦ-3 теплофикационная турбина Т-53/67-8,0 производства «Уральский турбинный завод» используется в составе ПГУ-230, как и паровые турбины Т-100/120-130 и Тп-110/120-130 [5].

Основным преимуществом парогазовой установки в связке с теплофикационной турбиной является высокая эффективность выработки электроэнергии, абсолютный электрический КПД 58%, КПД выработки тепла 96% [3]. Также стоит отметить, что в состав новых ПГУ стремятся включать отечественное основное и вспомогательное оборудование, что особенно важно в нынешних реалиях санкционной политики и в целях обеспечения устойчивого развития энергетического сектора в РФ.

### Источники

1. Теплофикационная паровая турбина Т-53/67-8.0 для ПГУ-230 Минской ТЭЦ-3 / Г.Д. Баринберг, А.Е. Валамин, А.А. Гольдберг и др. // Теплоэнергетика. 2008. № 8. С. 13-24.

2. Баринберг Г.Д., Коган П.В. Эффективность теплофикационной паровой турбины Тп-110/120-12,8-12М в составе ПГУ // Теплоэнергетика. 2003. № 6. С. 12-15.

3. Култышев А. Ю. Парогазовые установки и особенности паровых турбин для ПГУ : учеб. пособие / А. Ю. Култышев, В. Н. Голошумова, А. С. Алешина. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 163 с.

4. Чичирова Н. Д. и др. Обзор возможности применения газовых турбин малой мощности //Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. - 2023. - Т. 16. - №. 5. - С. 584-600.

5. Баринберг Г.Д., Длугосельский В.И. Теплофикационные турбины мощностью 115 МВт в составе ПГУ-170 // Теплоэнергетика. 1998. № 1. С. 16-19.



## **К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ПОКРЫТИЯ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ТЭЦ С ЭНЕРГОБЛОКАМИ ПГУ-450 ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Сайфуллина Эвелина Игоревна

Науч. рук. кандидат техн. наук, доц. Ляпин Александр Игоревич

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

Sajfullina1@bk.ru

Работа посвящена вопросам оценки эффективного отпуска тепла на нужды коммунально-бытовых и промышленных потребителей от ТЭЦ с энергоблоками ПГУ. Рассмотрены подходы к определению годового расхода тепла тепловой электростанции (ТЭЦ) с энергоблоком ПГУ-450 при подключении дополнительных тепловых потребителей. Приведена методология и проведен анализ обеспечения эффективной работы ТЭЦ в условиях изменяющихся тепловых нагрузок.

**Ключевые слова:** Парогазовая установка, тепловые нагрузки, теплоснабжение.

## **ON THE ISSUE OF THE POSSIBILITY OF COVERING THERMAL LOADS OF CHP PLANTS WITH PGU-450 POWER UNITS WHEN CONNECTING ADDITIONAL THERMAL CONSUMERS**

Sajfullina Evelina I.

KSPEU, Kazan, Russia, Republic of Tatarstan

Sajfullina1@bk.ru

The work is devoted to the assessment of the effective heat supply for the needs of municipal and industrial consumers from CHP plants with PGU power units. The approaches to determining the annual heat consumption of a thermal power plant (CHP) with a PGU-450 power unit when connecting additional thermal consumers are considered. The methodology is presented and an analysis is carried out to ensure the efficient operation of the CHP in conditions of changing thermal loads.

**Keywords:** Combined cycle gas plant, thermal loads, heat supply.

На сегодняшний день парогазовые установки (ПГУ) являются одним из самых эффективных способов производства тепловой и электрической энергии. Её высокий коэффициент полезного действия, низкие

эксплуатационные расходы, сниженное потребление воды и топлива на производство единицы энергии, а также высокие экологические показатели делают её привлекательным выбором для современных энергетических систем.

ПГУ способна адаптироваться к изменениям нагрузки благодаря наличию как паротурбинной, так и газотурбинной частей, что позволяет оперативно реагировать на изменения в потреблении энергии. Также есть возможность работы установки в различных режимах, включая максимальный теплофикационный режим зимой и режим без отопления летом.

Современные теплоэнергетические системы и генерирующие объекты характеризуются постоянно растущим спросом на тепловую и электрическую энергию, а также изменениями в структуре потребления, особенно в условиях подключения дополнительных тепловых потребителей. В связи с этим, прогнозирование объема тепловой нагрузки ТЭЦ, определения отпускаемого расхода тепла, и учет методов и подходов к управлению режимом работы ТЭЦ в теплофикационном и конденсационном режимах при подключении дополнительных потребителей представляются актуальной и важной задачей [1].

Одной из ключевых особенностей ПГУ является ее способность к быстрому отклику на изменения нагрузки и внешних условий, что обеспечивает стабильность в работе энергосистемы [2].

Имея ясное представление о расходе тепла, можно эффективно управлять распределением тепловых ресурсов, сокращая потери и оптимизируя использование топливных ресурсов. Это особенно важно в условиях растущего дефицита энергоресурсов и стремления к устойчивости.

На данный момент существует разные методы определения расхода тепла в энергетических установках. Одним из них является метод баланса энергии, он подразделяется на прямой и обратный.

С помощью прямого баланса энергии определение расхода тепла осуществляется путем измерения прямых потоков тепла в системе, включая тепловыделение от горения топлива и потери через стенки оборудования. Включает в себя измерение и учет различных видов энергии, таких как тепловая, механическая и электрическая. Важной частью прямого метода является учет потерь энергии, которые могут возникнуть в различных процессах. Потери могут быть вызваны трением, тепловыми потерями через стенки оборудования, несовершенствами в работе турбин и другими факторами.

В то время как при помощи обратного баланса энергии расчет производится на основе данных о подаваемой энергии и полученной энергии в виде электроэнергии и тепла, учитывая потери. Обратный метод баланса энергии предоставляет дополнительные преимущества при оценке эффективности энергетических установок, так как он уделяет внимание конечному результату - производимой энергии, и затем определяет входные параметры для достижения этого результата.

Оба метода обладают преимуществами и ограничениями. Прямой метод требует точных измерений и детального учета, что может быть трудоемким, но при правильной реализации обеспечивает высокую точность результатов. С другой стороны, обратный метод, основанный на оценках и моделировании, предоставляет удобные инструменты для оперативного управления системой, но может потребовать дополнительной калибровки и проверки точности моделей.

Подключение дополнительных потребителей, таких как дополнительные тепловые цеха или производственные процессы, требует точного определения их тепловых потребностей. Это включает в себя учет температурных режимов и объемов тепловых нагрузок. [3]

Кроме того, необходимо балансировать производство тепловой энергии с учетом дополнительных потребностей. Это включает в себя оптимизацию работы оборудования, регулирование параметров процессов и использование тепловых накопителей для временного сглаживания пиковых нагрузок [4-5].

Таким образом, можно сказать, что оптимальное использование тепловых ресурсов и энергоресурсов становится все более важным в условиях растущего спроса на энергию и стремления к устойчивости. Методы определения расхода тепла, такие как прямой и обратный баланс энергии, предоставляют инструменты для эффективного управления энергетическими установками [6].

Подключение дополнительных потребителей требует точного определения их тепловых потребностей и балансировки производства тепловой энергии для обеспечения стабильности работы системы.

## **Источники**

1. Головкин, А.И., Базаров, Л.М., Иванов, А.С. Моделирование тепловых процессов энергоблока ПГУ-450 при подключении дополнительных потребителей: научно-технический сборник. Москва: Издательство "Энергоатомиздат". 2015

2. Смирнов, В.П. Тепловые расчеты и оптимизация работы турбогенераторов ТЭЦ: учебное пособие. Санкт-Петербург: Издательство "Лань". 2017

3. Попов, Н.Н. Анализ и управление тепловыми процессами в ТЭЦ: учебное пособие. Москва: Издательство "Высшая школа". 2018

4. Чичирова Н.Д., Чичиров А.А., Ляпин А.И., Королёв А.Г., Вафин Т.Ф. Разработка и создание ТЭС с высокими экологическими показателями // Труды Академэнерго. – 2010. - №1. – С. 34-44.

5. Ляпин А.И., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А. К расчету материального баланса системы ТЭС – закрытая тепловая сеть // Проблемы энергетики. Известия вузов. – 2007. - №3-4. – С. 108-113.

6. Мордасов А.Г. Оптимальное использование и экономия энергоресурсов на промышленных предприятиях. Учебное пособие для ВУЗов / А.Г. Мордасов, В.Е. Добромиров, В.Г. Стогней. Воронеж: ВГУ, 1997. 240 с.

УДК 696.4

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СХЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Сатаров Артем Сергеевич

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

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

goodmen30070@gmail.com

В статье рассматриваются различные виды схем отопления, принцип их работы, преимущества и недостатки каждой из схем. От выбора схемы отопления зависит стоимость монтажа и материалов, а также комфорт в помещениях.

**Ключевые слова:** отопление, отопительный прибор, однотрубные схемы, двухтрубные схемы.

## MAIN TYPES OF HEATING SYSTEMS

Satarov Artyom S.

KSPEU, Kazan, Russia

goodmen30070@gmal.com

The article discusses various types of heating systems, the principle of their operation, the advantages and disadvantages of each of the schemes. The cost of installation and

materials, as well as indoor comfort, depend on the choice of heating system.

**Keywords:** heating, heating device, one-pipe circuits, two-pipe circuits.

Выбор схемы отопления – это важный этап в процессе проектирования и строительства здания. Схемы отопления можно разделить на две основные группы: двухтрубные и однотрубные. Они отличаются способом подключения отопительных приборов [1]. В однотрубной системе радиаторы подключаются последовательно, что является главной слабостью подобных систем. Вода в однотрубной системе остывает по мере движения по кольцу, поэтому ближайшие к источнику тепла приборы более нагреты. В двухтрубной системе отопительные приборы подключены параллельно, ввиду чего все приборы нагреваются равномерно, однако монтаж такой схемы сложнее, чем однотрубной.

Существует несколько основных схем отопления. Подробнее остановимся на каждой из них.

Однотрубная схема отопления – схема отопления, в которой теплоноситель подается и возвращается через один трубопровод, а отопительные приборы подключаются последовательно к одной линии циркуляции [2]. В современных проектах используется редко, так как проигрывает остальным схемам по эффективности и стоимости монтажа. Преимуществами схемы являются: простота схемы и относительная легкость монтажа. Недостатком системы является необходимость в установке отопительных приборов с большей площадью поверхностью нагрева в отдалении от источника тепла для достижения необходимого нагрева помещения.

Двухтрубная схема с тупиковым движением воды в ветвях – схема, в которой предусмотрены отдельные магистрали для горячего и холодного теплоносителя [1], он поступает во все отопительные приборы относительно равномерно. Преимуществами данной схемы являются недорогой монтаж системы, легкость балансировки. Недостатком схемы является зависимость отопительных приборов друг от друга, например, при повышении подачи теплоносителя в отопительный прибор, стоящий первым по ходу его движения, последующие приборы могут остыть.

Двухтрубная схема с попутным движением воды в ветвях – та же, что и предыдущая, но холодный теплоноситель движется в том же направлении, что и горячий [1]. Главным преимуществом такой системы является нахождения всех отопительных приборов в близких друг к другу гидравлических условиях, что обеспечивает простоту регулирования и стабильную работу системы.

Коллекторная схема – один из вариантов двухтрубной схемы. В каждое помещение или зону идет своя ветвь подачи и возврата воды [3]. В коллекторной схеме устанавливаются коллектор на прямой и обратной магистралях, к которым подключаются отопительные приборы. Как правило, коллектор скрыт в специальном шкафу и представляет собой участок трубы с несколькими отводами. Преимуществом данной схемы является возможность точного регулирования работы отдельных приборов, а также конструктивная простота и отсутствие соединительных фитингов при скрытии ветвей в стяжке пола. Недостатком системы является высокая стоимость материалов.

Таким образом, все схемы отопления имеют место в использовании в современных проектах, каждая имеет свои сильные и слабые стороны, и, в зависимости от условий, будет полезна потребителю.

### **Источники**

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 60 В 3ч. Ч. I. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканава и др.; Под ред. И. Г. Старовойтова и Ю. И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.; Стройиздат, 1990. – 344 с.: ил.-(Справочник проектировщика).

2. Попов Алексей Геннадьевич Основные характеристики и особенности однотрубной системы водяного отопления // Наука и образование сегодня. 2020. №7 (54).

3. Смирнов Р.А., Дергачёв Ф.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЯ // Вестник науки. 2023.

УДК 620.92

## **ВОДОРОДНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ**

Сафаров Ильяс Ильгизарович

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Филимонова Антонина Андреевна

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

batfleckforever@mail.ru

В данной статье рассмотрен водородный топливный элемент, принцип его работы и основные преимущества.

**Ключевые слова:** водород, топливный элемент, электрохимические реакции, энергетика.

## HYDROGEN FUEL CELL

Safarov Ilyas I.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

batfleckforever@mail.ru

This article discusses the hydrogen fuel cell, the principle of its operation and the main advantages.

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

Автомобильная промышленность остается одним из наиболее значительных источников глобальных выбросов во всем мире. Эта растущая проблема в первую очередь связана с высокой зависимостью от ископаемого топлива в качестве основного источника энергии. В Международном энергетическом агентстве (IEA) в 2020 г. сообщалось, что транспорт является источником 24% выбросов CO<sub>2</sub> во всем мире. Одной из технологий, используемой в разработке безуглеродного транспорта, является водородный топливный элемент (ТЭ). Электромобили на топливных элементах представляют собой возможное решение для достижения целей происходящего в настоящее время энергетического перехода, который предусматривает замену автомобилей с двигателем внутреннего сгорания автомобилями с низким воздействием на окружающую среду. По этой причине в ближайшие годы ожидается заметный рост этого рынка [1].

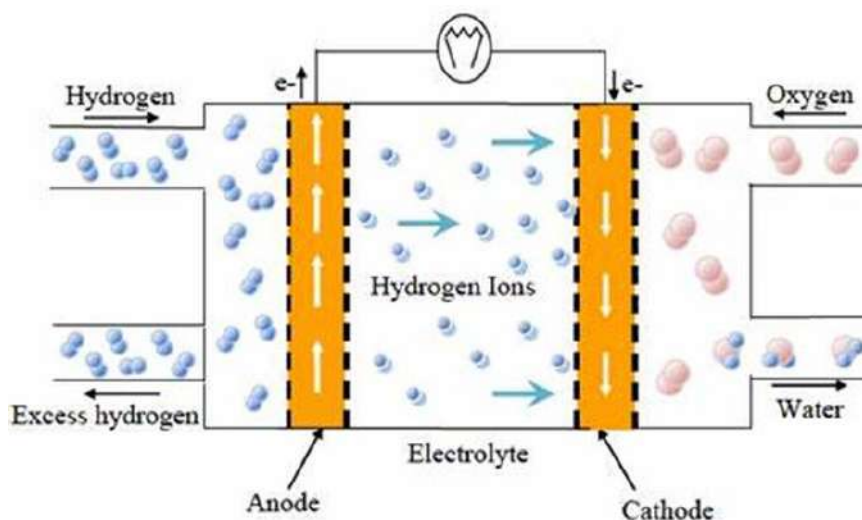
Топливный элемент вырабатывает энергию в результате электрохимической реакции, удивительно схожей с той, что протекает в аккумуляторной батарее. Батарея, однако, удерживает замкнутую энергию, хранящуюся внутри нее, и как только она часто разряжается, батарея должна быть выброшена или перезаряжена с помощью внешнего источника питания, управляющего электрохимической реакцией в обратном направлении.

Топливный элемент может работать неограниченное время, до тех пор, пока подключен к источнику водорода и кислорода (обычно воздуха). Атомы водорода вступают в электрохимическую реакцию с атомами кислорода во время окисления с образованием воды. Электроны

высвобождаются в процессе и протекают в виде электрического тока по внешней цепи.

Системы топливных элементов могут производить электроэнергию с КПД до 60 %, и еще выше при когенерации [2].

ТЭ состоит из анода, катода и электролита, расположенного между ними. Биполярные пластины расположены по обе стороны элемента и помогают распределять газы и ток по внешней цепи.



Водородный топливный элемент

В топливном элементе газообразный водород поступает к аноду по каналам, где катализатор разделяет молекулы водорода на протоны и электроны. Протоны направляются на другую сторону ячейки через электролит, а отрицательно заряженный поток электронов направляется по внешней цепи к катоду. Этот поток электронов представляет собой электричество, которое может использоваться для питания электродвигателя и выполнения работы. Воздух поступает к катоду через каналы с другой стороны ячейки. На катоде электроны, возвращающиеся после выполнения работы, вступают в реакцию с кислородом и протонами, образуя воду. Это соединение представляет собой экзотермическую реакцию, выделяющую тепло, которое может быть использовано вне топливного элемента [3].

По сравнению с традиционными электрогенераторами, работающими на ископаемом топливе, использование топливных элементов имеет множество преимуществ:



- благодаря более низким температурам окисления топлива, топливные элементы выделяют меньше парниковых газов, углекислого газа и оксидов азота на киловатт вырабатываемой энергии. Кроме того, отсутствие каких-либо подвижных частей в топливных элементах сводит к минимуму шумы и вибрации;

- модульность и гибкость: один топливный элемент вырабатывает менее одного вольта электрического потенциала. Топливные элементы устанавливаются друг на друга и соединяются последовательно для получения более высокого напряжения. Желаемая выходная мощность и производительность отдельных элементов определяют количество элементов в наборе, которое колеблется от нескольких сотен Вт до нескольких сотен кВт;

- низкие затраты на техническое обслуживание: относительно легко идентифицировать и заменить поврежденный или неисправно работающий элемент, находящийся внутри топливного стека, благодаря высокой модульности систем топливных элементов, что приводит к снижению затрат на техническое обслуживание;

- более высокая объемная и гравиметрическая эффективность топливных элементов является результатом химического производства электрической энергии непосредственно из используемого топлива, без сжигания;

- топливные элементы производят только чистую воду и тепло в качестве побочного продукта. Не образуется углекислый / угарный газ [4].

Анализ водородного ТЭ позволяет сделать вывод о том, что данная технология обладает значительным потенциалом для снижения выбросов вредных веществ в атмосферу и обеспечения устойчивого и экологически чистого будущего во многих отраслях, включая транспортную.

## **Источники**

1. Антипанова, И. С. Водородные топливные элементы на электрическом транспорте / И. С. Антипанова, И. В. Токтаров // Научные исследования XXI века: теория и практика: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Прага, 15 июня 2022 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2022. – С. 20-23.

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. Банкет, М. В. Перспективы использования альтернативных источников энергии в автомобильном транспорте / М. В. Банкет, Р. С. Шарапов // Техника и технологии строительства. – 2020. – № 2(22). – С. 9-14.

4. Кардакова, Н. А. Водородная энергетика. Перспективы развития в России и в мире / Н. А. Кардакова // Вектор развития. – 2021. – № 10. – С. 133-143.

УДК 658.567.1

## УТИЛИЗАЦИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

Сафиулин Даниэль Альбертович<sup>1</sup>

Науч. рук. к.х.н. Сироткина Лилия Витальевна<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>saf132.132@yandex.ru, <sup>2</sup>liliya\_belyaeva@mail.ru

В статье рассмотрена возможность применения сжигания пластика для производства водорода на территории Республики Татарстан. Для оценки эффективности этого метода были использованы данные потребления электроэнергии в Татарстане, данные сжигания мусора.

**Ключевые слова:** водород; сжигание; пластик; электроэнергия.

## DISPOSAL OF PLASTIC WASTE FOR HYDROGEN PRODUCTION

Safiulin Daniel A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

saf132.132@yandex.ru

The article discusses the possibility of using plastic combustion to produce hydrogen in the Republic of Tatarstan. To assess the effectiveness of this method, data on electricity consumption in Tatarstan and waste combustion data were used.

**Keywords:** hydrogen; burning; plastic; electricity.

Водород можно применить для производства электроэнергии, обогрева наших домов и предприятий, а также в качестве топлива.

Водородная энергетика предлагает множество способов получения этого вещества, что является одним из ее главных преимуществ, при этом повышается энергетическая безопасность и уменьшается зависимость от отдельных видов сырья.

Для получения водорода используются такие методы, как паровая конверсия метана и природного газа, газификация угля, электролиз воды, пиролиз, биотехнологии [1]. Но одним из важных критериев производства водорода является его экологичность. Такие технологии позволяют производить энергию без ущерба экосистеме и жизни людей.

Целями данной работы является изучение основных способов получения водорода, а также рассмотрение возможности внедрения новых технологий, например, сжигание пластика для производства водорода на территории Республики Татарстан.

Одним из важных вопросов, которые нужно решить, является поиск новых и инновационных технологий для производства водорода. Японская компания *Showa Denko K.K.* представила интересный метод получения водорода из пластика, который может стать значительным прорывом в данной области, который позволяет использовать отработанный пластик для создания экологически чистого продукта – водорода, что помогает решить проблему обращения с отходами и снизить воздействие на окружающую среду.

Для решения этой проблемы, например, японская компания *Showa Denko K.K.* использует производство водорода из пластика (см. рис.1) [2].

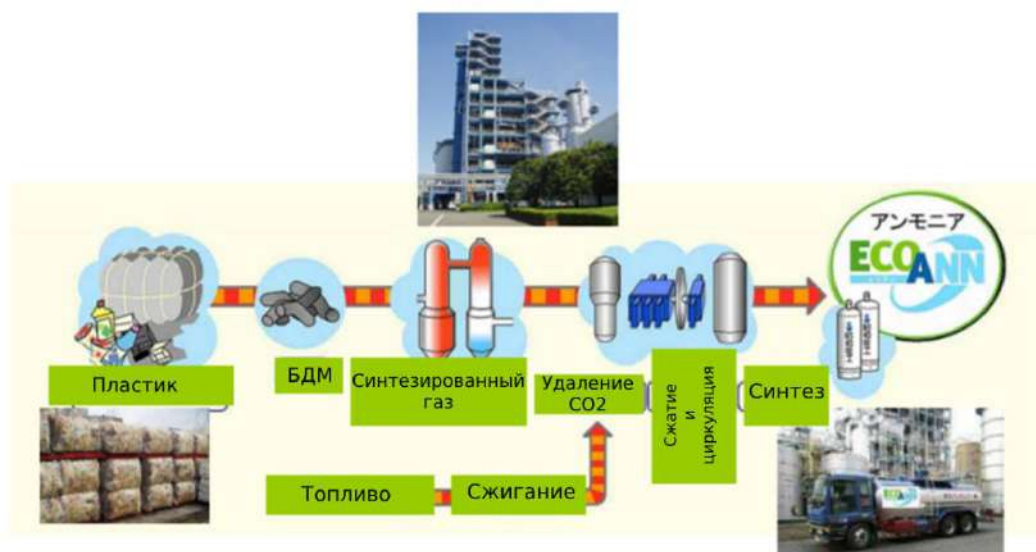


Схема производства водорода из пластика

Использованный пластик разогревают для его разложения, затем удаляют CO<sub>2</sub>. После, пластик сжимают и проводят повторную обработку для его удаления. При этом выделяются оксид углерода и органические соединения, из которых выделяют водород. Так, например, из 195,00 тонн использованного пластика, около 89,7% получаются химические продукты из них 33,0 % – это водородное топливо, оставшаяся часть – это аммиак, который в дальнейшем используется в производстве [2].

По данным Государственного Комитета Республики Татарстан по тарифам [3] ежегодно выбрасывается около 338,00 тыс. тонн пластика, а на дальнейшую переработку поступает около 40,56 тыс. тонн пластмассы. Т.е., если использовать метод японской компании *Showa Denko K.K.* в Татарстане, то можно получать 36,50 тыс. тонн химических продуктов из них 12,05 тонн может быть использовано как водородное топливо, оставшаяся часть продукции может уходить на химические производства Татарстана, например на ПАО «Казаньоргсинтез».

Таким образом, рассмотрена возможность внедрения перспективного способа получения водорода сжиганием пластика, а также рассчитан возможный выход водородного топлива. Кроме того, будут решены такие экологические проблемы, как загрязнение пластиком и производство парниковых газов.

### Источники

1. Потапова Елена Владимировна Проблема утилизации пластиковых отходов // Известия БГУ. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problema-utilizatsii-plastikovyyh-otходов> (дата обращения: 14.11.2023).

2. Водород всему голова: как из пластикового мусора вырабатывают энергию для японской гостиницы [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/companies/toshibarus/articles/504222/> (дата обращения: 12.03.2023).

3. Государственный комитет Республики Татарстан по тарифам, раскрытие информации в сферах утилизации (захоронения ТБО, обращение с ТКО [Электронный ресурс]. URL: <https://kt.tatarstan.ru/tbo.htm> (дата обращения: 12.03.2023).

## **РОЛЬ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ В СОВРЕМЕННОЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

Селендюкова Ольга Олеговна

Науч. Руководитель к. т. н., доцент Закиров Ринат Нургалиевич

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

olgaselendukova@gmail.com

В данной статье рассматривается роль исследовательских реакторов в современной ядерной энергетике. Исследовательские реакторы играют ключевую роль в разработке новых материалов, технологий и методик для ядерной энергетике, а также в обучении специалистов в этой области. В статье рассматриваются основные функции исследовательских реакторов, их важность для развития современных ядерных технологий, а также примеры успешных проектов исследовательских реакторов.

**Ключевые слова:** исследовательские реакторы, научно-исследовательские институты, изотопы, реакторы на быстрых нейтронах.

## **THE ROLE OF RESEARCH REACTORS IN MODERN NUCLEAR ENERGY**

Selendyukova Olga O.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

olgaselendukova@gmail.com

This article examines the role of research reactors in modern nuclear power engineering. Research reactors play a key role in the development of new materials, technologies and techniques for nuclear energy, as well as in the training of specialists in this field. The article discusses the main functions of research reactors, their importance for the development of modern nuclear technologies, as well as examples of successful research reactor projects.

**Keywords:** research reactors, research institutes, isotopes, fast neutron reactors.

Исследовательские реакторы являются источником нейтронов для экспериментальных работ в некоторых областях науки и техники. В отличие от более крупных реакторов, которые используются для выработки электроэнергии, исследовательские в основном нужны для производства нейтронов. Так же они имеют более простую конструкцию

по сравнению с ядерными энергетическими реакторами, требуют меньше ядерного топлива и благодаря этому производят гораздо меньше отходов, работают при значительно низких температурах [3].

Одни из основных функций исследовательских реакторов - это научно-исследовательская и опытно-конструкторская, это и объясняет местоположение реакторов в университетских городах и научно-исследовательских институтах.

Самым первым титульным реактором-прототипом является «котёл» АМ-1 (атом морской). Реактор был запущен в 1954 году, мощность составляла пять мегаватт. Он был создан для исследовательских работ по ядерной физике и для дальнейшей эксплуатации и разработки промышленных реакторов. Кроме того, в составе АМ-1 имелись четыре горизонтальных канала для вывода нейтронов из реактора. Два из них использовались для производства искусственных радиоактивных изотопов, а другие два - для изучения воздействия нейтронов на свойства материалов. В результате исследования структуры кристаллов хрома с рассеиванием ими нейтронов стали международным научным открытием. Исследования проходили до 2002 года [1].

В отличие от уран-графитовых реакторов РБМК-1000, водо-водяные «котлы» типа ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) не имели наземного прототипа. Исходя из этих данных, для разработки ВВЭРов использовались реакторы, работавшие на воде и под водой, – такие как на первых советских атомных кораблях.

Для развития быстрой натриевой энергетики были созданы различные исследовательские аппараты: БР-2 (реактор-размножитель на быстрых нейтронах) с ртутным теплоносителем, БР-5 (позже улучшенный до БР-10), и предпоследний прототип – БОР-60 (экспериментальный реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем). После успешного испытания БОР-60 были запущены крупные проекты быстрых реакторов, такие как БН-350 (быстрый реактор-размножитель с натриевым теплоносителем), БН-600 и БН-800 [2].

Вскоре ядерные излучения и радиоактивные изотопы, получаемые в реакторах, стали использоваться в исследованиях не только в ядерной физики, но и в таких областях наук как: медицина, биология, химия, физика твёрдого тела, а так же в реакторной технологии.

Исследовательские реакторы большой мощности снабжаются каналами с автономными циркуляционными контурами охлаждения. Петли играют важную роль в испытаниях новых конструкциях тепловыделяющих элементов. В каналах с определенным видом

теплоносителя создаются благоприятные условия для работы, а так же изучаются работа тепловыделяющие элементов в процессе выгорания ядерного горючего и некритичные радиационные нарушения. Исследования в петлях играют важнейшую роль для развития атомной энергетики [4,5].

Исследовательские реакторы играют значительную роль в различных научных и технических областях, обеспечивая возможность проведения экспериментов и исследований, которые не могли бы быть осуществлены в других условиях. Они являются ключевым инструментом для изучения процессов ядерного деления, разработки новых материалов, создания новых делящих веществ и многих других областей науки и техники. Благодаря исследовательским реакторам ученые и инженеры могут более глубоко понять природу ядерных процессов и разработать новые технологии, способные изменить мир к лучшему.

### **Источники**

1. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. Росатом: история и современность// Энциклопедия атомной отрасли. Санкт-Петербург, 2015.

2. Щелкин К.И., Задикян А.А., Морохов И.Д. Советская атомная наука и техника. Москва, 1967. С. 44-49

3. Исследовательские реакторы и способы их использования [Электронный ресурс]. – 2018. – URL: (дата обращения 3.03.2024). – Текст: электронный.

4. Исследовательско-технологическая база НИЦ “Курчатовский институт” [Электронный ресурс]. – 2020 – URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/11/21/136760> (дата обращения 3.03.2024). – Текст: электронный.

5. Третьяков И.Т., Федюлин В.Н., Архангельский Н.В., Исследовательские ядерные установки России. Москва.: ОАО “НИКИЭТ”, 2012. С. 21-29

УДК 621.43

## **ЛАБИРИНТНЫЕ УПЛОТНИТЕЛИ ГТД. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

<sup>1</sup>Соколов Кирилл Александрович, <sup>2</sup>Бондарева Анастасия Сергеевна

Науч. рук. к-д техн. наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>treis0320@mail.ru, <sup>2</sup>bondareva.nast0708@gmail.com

В докладе приведены результаты обзора лабиринтных уплотнителей, включая выявление проблем и представление разработанных решений, а также проведено сравнение характеристик этих решений с уже существующими уплотнителями.

**Ключевые слова:** лабиринтные уплотнители, газотурбинные двигатели.

## LABYRINTH SEALS GTD. PROBLEMS AND SOLUTIONS

<sup>1</sup> Sokolov Kirill A., <sup>2</sup>Bondareva Anastasia S

<sup>1,2</sup>Kazan State Power Engineering University, Kazan

<sup>1</sup>treis0320@mail.ru, <sup>2</sup>bondareva.nast0708@gmail.com

The report provides the results of a review of the thermal insulation materials used and promising materials currently at the development and prototyping stage.

**Keywords:** labyrinth seals, Gas Turbine Engines.

Лабиринтные уплотнители - это устройства, используемые для предотвращения проникновения влаги и других нежелательных элементов в механизмы и оборудование. Лабиринтные уплотнители состоят из множества плотно прилегающих к друг другу элементов, которые создают сложные пути для предотвращения утечек.

Для обеспечения эффективной работы лабиринтных уплотнителей часто используются материалы с теплоизоляционными свойствами. Обычно это специальные компоненты, такие как графитовые кольца и силиконовые прокладки, которые могут быть установлены в уплотнительных устройствах различного диаметра [1].

Важным аспектом является защита лабиринтных уплотнителей от коррозии и воздействия окружающей среды. Для этой цели часто используются покрытия, такие как антикоррозионные краски и лаки.

Преимущества лабиринтных уплотнителей: высокая степень герметичности, устойчивость к агрессивным средам, надежная защита от внешних воздействий, продолжительный срок службы (до 20 лет).

К недостаткам лабиринтных уплотнителей можно отнести: ограничения в применении при высоких температурах и давлениях, необходимость регулярного обслуживания и замены при износе, сложность монтажа и настройки.

На данный момент лабиринтные уплотнители чаще всего используются в областях, где требуется высокая степень надежной



герметичности, таких как машиностроение, нефтегазовая промышленность и энергетика.

Лабиринтные уплотнители обычно реализуются через создание сложной системы "кольцо в кольце". Эта технология включает в себя установку нескольких уплотняющих колец или элементов между поверхностями, которые требуется защитить. Лабиринтные уплотнители могут быть использованы в диапазоне температур окружающей среды от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+250^{\circ}\text{C}$ , что делает их универсальными для различных условий эксплуатации.

Рассмотрим также перспективные разработки для лабиринтных уплотнителей ГТД, находящиеся в стадии исследования и создания прототипов.

Ученый Джозеф Альфорд провел исследования и разработал метод защиты ротора с лабиринтным воздушным уплотнением от самовозбуждения вибрации и усталости. Он предложил использовать дополнительное демпфирование, где это необходимо. В частности, применение разрезных демпфирующих колец, а также разрезных демпфирующих втулок [2].

Разрезные демпфирующие кольца позволили предотвратить усталостные разрушения, которые обычно возникали на вершине крайних зубьев, примыкающих к свободному концу консольного уплотнения. Затем эти разрушения распространялись вдоль оси за счет изгибно-узловой вибрации тонких стенок ротора уплотнения.

Дополнительный анализ выявил наличие акустомеханической связи и резонансных явлений при определенных режимах. Важным моментом стало то, что разрезанные кольца имеют положительную фиксацию и не могут выпасть. Радиально расширяющееся внутрь кольцо вблизи свободного конца было необходимо для увеличения жесткости и предотвращения переходной деформации вне круга, вызванной нагревом, возникающим при трении по дуге примерно  $90^{\circ}$ . Это оказалось особенно важным, поскольку трение при низких скоростях приводит к наибольшим искажениям уплотнения.

Следующая перспективная разработка ученых в области аппроксимации и суррогатного моделирования включает два ключевых метода: универсальный анизотропный кригинг и метод скользящих наименьших квадратов. Универсальный кригинг представляет собой комбинацию полиномиальной модели в качестве базиса и остатков тренировочных точек для прогнозирования.

Этот метод компенсирует эффекты кластеризации данных и оценивает ошибку аппроксимации, что позволяет аппроксимировать зашумленные задачи. В ходе исследования было выявлено, что все суррогатные модели для каждого выхода обладают высокой точностью, с прогнозами, точность которых превышает 95%.

Это свидетельствует о возможности заменять реальные CFD-расчеты с использованием суррогатных моделей в задачах оптимизации. Анализ чувствительности позволяет идентифицировать важные параметры и нелинейные корреляции, что демонстрирует высокую эффективность исследования [3].

Исследования и перспективные разработки в области лабиринтных уплотнителей в газотурбинных двигателях (ГТД) могут значительно снизить тепловые потери и улучшить эффективность работы этой важной технической системы. Внедрение современных технологий в уплотнения позволит газотурбинным двигателям работать более эффективно и снизить финансовые издержки теплосетевых компаний на монтаж и обслуживание уплотнений.

### **Источники**

1. Иванов В.А. Выбор оптимальной степени повышения давления и принципа проектирования ГТУ сложного цикла // Изв. РАН. Энергетика, 2019, №1. С. 106-114.

2. ALFORD, J. S. (1975). Nature, causes, and prevention of labyrinth air seal failures. *Journal of Aircraft*, 12(4), 313–318. doi:10.2514/3.44449

3. Samad and K. Kwang-Yong. Surrogate based optimization techniques for aerodynamic design of turbomachinery. *Inter-national Journal of Fluid Machinery and Systems*, 2:179–188,2009

УДК 662.994

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ В ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ**

Сулейманов Эльнар Владикович

Науч. рук. кандидат техн. наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

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

elnar.sulejmanov@mail.ru

В данной статье рассматриваются различные факторы, которые влияют на эффективность утилизации теплоты в парогазовых установках. Также, в работе предложены некоторые способы улучшения эффективности утилизации теплоты в парогазовых установках.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, утилизация теплоты, виды топлива, технология сгорания, теплообменники, эффективность установки.

## **STUDY OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE EFFICIENCY OF HEAT RECYCLING IN COMMON GAS PLANTS**

Suleymanov Elnar V.

KSPEU, Kazan, Russia, Republic of Tatarstan

elnar.sulejmanov@mail.ru

This article discusses various factors that affect the efficiency of heat recovery in combined cycle gas plants. Also, the work suggests some ways to improve the efficiency of heat recovery in combined cycle plants.

**Keywords:** combined cycle plant, heat recovery, types of fuel, combustion technology, heat exchangers, plant efficiency.

Парогазовые установки, представляющие собой сложные инженерные системы, играют ключевую роль в производстве энергии, обеспечивая значительную часть мирового энергетического баланса. Однако, несмотря на их важность, эффективность утилизации теплоты в таких установках остается предметом постоянного исследования и совершенствования. Это обусловлено сложностью процессов, происходящих внутри установок, а также широким спектром факторов, влияющих на эффективность работы системы [1].

Главным фактором, влияющим на эффективность утилизации теплоты, является состав рабочего топлива. Различные виды топлива имеют разные теплотворные характеристики и содержание полезных компонентов, что прямо влияет на процесс образования и распределения теплоты внутри установки. Исследования в этой области направлены на оптимизацию сочетания различных видов топлива для максимальной эффективности процесса. В парогазовых установках используются различные виды топлива, такие как природный газ, дизельное топливо, уголь, биомасса и мазут [2].

Также стоит обратить внимание на такой фактор, как технология сгорания. Оптимальное управление процессом сгорания, включая регулирование подачи воздуха и топлива, играет ключевую роль в эффективном использовании тепловой энергии. Исследования в этой области направлены на разработку более точных и эффективных систем контроля и управления процессом сгорания. Помимо этого, улучшение технологий сгорания также направлено на снижение эксплуатационных расходов и повышение надежности оборудования. Это способствует увеличению конкурентоспособности производителей на энергетическом рынке и содействует устойчивому развитию промышленности в целом [3].

Также, эффективность утилизации теплоты в значительной степени зависит от процессов теплового обмена. Эффективные теплообменники способны максимально использовать тепловую энергию, перераспределяя ее внутри системы и минимизируя потери. Исследования в этой области включают в себя разработку новых конструкций теплообменников, а также оптимизацию процессов теплопередачи. Изучение теплообмена в парогазовых установках включает разработку и оптимизацию пластинчатых, трубчатых и кожухотрубчатых теплообменников, а также разбрызгивающихся систем [4].

К тому же, немаловажную роль в оптимизации эффективности, играют режим работы и нагрузка парогазовых установок роль в оптимизации их эффективности. Регулирование режима работы и нагрузки позволяет управлять энергетическими процессами в установке таким образом, чтобы обеспечивать стабильное производство энергии с наименьшими затратами. Например, при периодах низкого спроса на энергию установка может работать на минимальной мощности или быть временно выключена для снижения издержек. Обратно, в периоды пикового спроса установка может работать на максимальной мощности, чтобы обеспечить необходимое энергоснабжение. Эффективное управление режимом работы и нагрузкой помогает оптимизировать использование ресурсов и повышает общую эффективность парогазовой установки [5].

Несмотря на разнообразие факторов, важно учитывать и экологические аспекты. Минимизация выбросов и оптимизация работы системы с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду также являются важными направлениями в процессе утилизации теплоты в парогазовых установках.

В заключении, парогазовые установки играют ключевую роль в производстве энергии, но их эффективность утилизации теплоты остается

предметом постоянного исследования. Оптимизация состава рабочего топлива, технологии сгорания, разработка эффективных теплообменников и режимы работы, являются важными направлениями, которые должны учитываться при эксплуатации парогазовых установок.

### **Источники**

1. Шадек Е., Маршак Б., Анохин А., Горшков В. Глубокая утилизация тепла отходящих газов теплогенераторов // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ. 2014. № 2 (23).

2. Петров С.Н. Экономическая оценка использования природного газа в парогазовых установках: сравнительный анализ с другими видами топлива / С.Н. Петров, Н.В. Иванова // Энергетическая экономика и управление. 2017. № 3. С. 64-71.

3. Кузнецов В.И., Смирнов Г.А. Разработка системы мониторинга и управления процессом сгорания для повышения эффективности парогазовых установок // Журнал "Энергетика и автоматизация". 2017. Т. 8. № 4. С. 67-74.

4. Григорьев А.С., Лебедев Д.П. Исследование теплообмена в парогазовых установках при различных режимах работы // Журнал "Теплогидравлика". 2019. Т. 7. № 4. С. 112-119.

5. Смирнов Г.П., Козлов Д.С. Оптимизация режима работы парогазовых установок при различной нагрузке // Журнал "Теплоэнергетика и автоматизация". 2016. Т. 7. № 3. С. 78-85.

УДК 665.75

## **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА СУДОВОЙ МАЗУТ МАРКИ Ф5 ВМЕСТО ТОПОЧНОГО М100 НА РАЙОННОЙ КОТЕЛЬНОЙ «АЗИНО» Г.КАЗАНИ**

Низамова Альфия Шарифовна<sup>1</sup>, Сунгатуллин Камиль Ильгизарович<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nizamova\_tes@mail.ru, <sup>2</sup>ksungatullin061@gmail.com

В статье рассматривается вопрос установки и выбора параметров резервного мазутного хозяйства районной котельной «Азино» г.Казани. Рассмотрены разные варианты развития событий и выбран наиболее эффективный метод содержания

резервного мазутного хозяйства.

**Ключевые слова:** мазутное хозяйство, котельная.

## **THE EXPEDIENCY OF USING MARINE FUEL OIL OF THE F5 BRAND AS A BACKUP FUEL INSTEAD OF THE FURNACE M100 AT THE AZINO DISTRICT BOILER HOUSE IN KAZAN**

Nizamova Alfia S.<sup>1</sup>, Sungatullin Kamil I.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>nizamova\_tes@mail.ru, <sup>2</sup>ksungatullin061@gmail.com

The article deals with the issue of installation and selection of parameters of the reserve fuel oil industry of the district boiler house "Azino" in Kazan. Various scenarios are considered and the most effective method of maintaining a reserve fuel oil farm is selected.

**Keywords:** fuel oil industry, boiler house.

Как правило мазут является резервным топливом для котельных находящихся в центральной части России. Это подразумевает под собой наличие резервного хозяйства, которое требует затрат энергии на содержание. Затраты на эксплуатацию резервного хозяйства могут составлять до 10 % мощности котлов станции. Немалая часть тепловой энергии собственных нужд станции потребляется именно мазутным хозяйством [1].

Методика расчета теплотехнологических схем мазутных хозяйств сводится, в основном, к определению количества подводимой к системе теплоты для подогрева мазута и расчету потерь в окружающую среду, а также выбору резервуаров и другого вспомогательного оборудования [2]. Объем резервуаров рассчитывается исходя из типа мазутного хозяйства (основное, резервное, аварийное, растопочное) и способа доставки.

На рассматриваемой нами котельной «Азино» объем резервуаров резервного топлива рассчитан исходя из пятисуточного расхода всех котлов при номинальном режиме работы и доставке его автомобильным транспортом [3]. Для хранения основного, резервного и растопочного топлива необходимо не менее двух резервуаров так, как в случае неполадок с одним резервуаром, второй будет являться резервным. Доставка мазута автомобильным транспортом применяется на небольшие котельные и на небольшие расстояния (до 1000 км) [4]. При доставке мазута автотранспортом мазут должен быть в разогретом состоянии.

В настоящее время для электростанций и котельных принят циркуляционный метод подогрева мазутных хозяйств [5]. Принцип действия циркуляционной системы заключается в том, что мазут забирается из нижней части резервуара, проходит через подогреватели и возвращается обратно в резервуар по линии рециркуляции. Разогрев осуществляется паром в подогревателях типа «ПМ» и «ПМР»

Основной задачей резервного мазутного хозяйства является непрерывная подача мазута к горелкам котлов для обеспечения их надежной работы. Подогрев мазута необходим для поддержания требуемой температуры с целью предотвращения его застывания и возможности транспортирования по мазутопроводам мазутными насосами. Как уже говорилось, подогрев мазута в подогревателях может осуществляться паром или сетевой водой. Однако в составе котельной нет паровых котлов, это обусловлено тем, что до модернизации третьего водогрейного котла не было предусмотрено резервного хозяйства, однако теперь в связи с увеличением потребителей тепловой энергии рассматривается вопрос установки резервуаров резервного топлива. Из этого следует, что для поддержания мазутного хозяйства с помощью пара необходима установка парового котла. Отсутствие резервного хозяйства отрицательно сказывается на надежности котельной. В случае аварийного отключения газа, потребители тепловой энергии могут остаться без тепла или получить тепло в недостаточном количестве по кольцевой схеме теплоснабжения. Все ТЭЦ и районные котельные города Казани закольцованы по трубопроводам теплоснабжения и в случае аварийной ситуации потребители не останутся без теплоснабжения, но скорее всего получат его не в полном объеме. Поэтому в районной котельной «Азино» остро стоит вопрос выбора схемы и параметров резервного мазутного хозяйства.

Так как установка парового котла нецелесообразна предлагается использовать в качестве резервного топлива флотский мазут марки Ф5, методом холодного хранения, подогрев осуществлять обратной или прямой сетевой водой в целях экономии энергии на подогрев.

## **Источники**

1. Зиятдинов, Р.М. К вопросу о мазутном хозяйстве / Р. М. Зиятдинов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 9 (89). — С. 237-240. — URL: <https://moluch.ru/archive/89/18091/> (дата обращения: 26.02.2024).

2. Шамсутдинов, Э.В. Алгоритм разработки и оценки эффективности использования энергосберегающих мероприятий для мазутных хозяйств ТЭС и крупных котельных

3. Назмеев, Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 612 с.

4. Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции : учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1976. - 447 с

5. Шагеев, М.Ф. Определение времени разогрева водомазутной эмульсии в резервуарах при хранении на ТЭС и промышленных предприятиях / В. В. Лопухов, Бушара Салахелдин // Экспозиция Нефть Газ. 2009. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-vremeni-razogreva-vodomazutnoy-emulsii-v-rezervuarah-pri-hranenii-na-tes-i-promyshlennyh-predpriyatiyah>

УДК 621.039.5

## **ДВУХФАЗНОЕ ТЕЧЕНИЕ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Титенков Вячеслав Владимирович

Науч. Рук канд. тех. наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

vyacheslavT90@yandex.ru

Данная статья рассматривает роль двухфазного течения в современной ядерной энергетике, основные проблемы, связанные с его использованием, и пути их решения. Особое внимание уделяется значению двухфазного течения для охлаждения активной зоны реакторов, а также проблемам с паровыми кавитациями и неоднородным распределением фаз.

**Ключевые слова:** Ядерная энергетика, двухфазное течение, охлаждение реакторов, паровые кавитации, гидравлические удары, безопасность, теплоотдача, инновации.

## **TWO-PHASE FLOW IN NUCLEAR POWER ENGINEERING: PROBLEMS AND SOLUTIONS**

Titenkov Vyacheslav V.

KSPEU, Kazan, Russia

vyacheslavT90@yandex.ru



This article examines the role of two-phase flow in modern nuclear power engineering, the main problems associated with its use, and ways to solve them. Special attention is paid to the importance of two-phase flow for cooling the reactor core, as well as problems with steam cavitations and inhomogeneous phase distribution.

**Keywords:** Nuclear power engineering, two-phase flow, reactor cooling, steam cavitations, hydraulic shocks, safety, heat transfer, innovations.

В ядерной энергетике одной из важнейших проблем является эффективное теплоотведение от активной зоны реактора. Одно из наиболее эффективных решений этой проблемы - использование двухфазного течения теплоносителя. Двухфазное течение - это режим течения жидкости и пара, при котором они находятся в тесном контакте и взаимодействуют друг с другом. В реакторах ядерных электростанций используется двухфазное течение для охлаждения активной зоны. Это позволяет эффективно отводить тепло, образующееся при делении ядерных материалов, и поддерживать оптимальную температуру для нормальной работы реактора.

Однако, использование двухфазного течения в ядерной энергетике сопряжено с рядом проблем. Одна из главных проблем - это нестабильность течения, которая может приводить к колебаниям мощности реактора и, как следствие, к нарушению его безопасной работы. Нестабильность течения может быть вызвана различными факторами, такими как изменение давления, температуры, расхода теплоносителя и другими.

Одной из основных проблем является возможность образования паровых кавитаций, которые могут привести к нарушению теплоотдачи и повреждению оборудования. — физический процесс образования разрывов сплошности, то есть пузырьков (пустот) в жидкостях в результате местного понижения давления. Этому способствуют зародыши кавитации.

Кавитация возникает в результате местного понижения давления в капельной жидкости:

при движении жидкости с большими местными скоростями (гидродинамическая кавитация);

во время полупериода разрежения акустической волны большой интенсивности (акустическая кавитация).

Гидравлические удары в момент замыкания сплошности вызывают эрозионное разрушение материала роторов насосов и т. п., а

также специфическую коррозию металлов, из которых сделаны эти детали, из-за того, что пассивирующая оксидная плёнка непрерывно удаляется.

Кроме того, неоднородное распределение фаз и образование гидравлических ударов также могут вызывать серьезные проблемы в работе системы.

Для решения проблем с паровыми кавитациями и неоднородным распределением фаз применяются различные методы и технологии. Одним из них является использование специальных конструкций и поверхностей, способствующих предотвращению образования кавитаций. Также разрабатываются новые алгоритмы управления и контроля двухфазных потоков для минимизации рисков возникновения гидравлических ударов и других нештатных ситуаций [1].

Другой подход к решению проблемы нестабильности течения - это использование систем управления реактором, которые способны компенсировать колебания мощности [2]. Такие системы используют информацию о параметрах теплоносителя и активной зоны реактора для регулирования его работы. Кроме того, для предотвращения нестабильности течения могут применяться специальные режимы работы реактора, например, режим с частичной выгрузкой топлива [3].

Еще одна проблема, связанная с использованием двухфазного течения в ядерной энергетике, — это образование паровых пробок в трубопроводах. Паровая пробка — это область, в которой пар полностью заполняет поперечное сечение трубопровода и препятствует нормальному движению теплоносителя. Это может привести к перегреву активной зоны реактора и нарушению его безопасной работы [4].

Двухфазное течение играет ключевую роль в современной ядерной энергетике, обеспечивая эффективное охлаждение реакторов. Однако проблемы, связанные с его использованием, требуют постоянного внимания и разработки новых технологий для их решения. Несмотря на сложность этих проблем, использование двухфазного течения в ядерной энергетике остается перспективным направлением развития отрасли.

## Источники

1. Доллежалъ Н.А. Ядерные энергетические установки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://djvu.online/file/KZ6HuechT5dAY> (дата обращения 25.02.2024)

2. Петухов Б.С. Генин Л.Г. Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://djvu.online/file/W77bYohLiBvnrw> (дата обращения 25.02.2024)

3. Кириллов П.Л. Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://djvu.online/file/lmQyGAJOEmaV4> (дата обращения 25.02.2024)

4. Вараксин А.Ю. Гидрогазодинамика и теплофизика двухфазных потоков с твердыми частицами, каплями и пузырями [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://journals.rcsi.science/0040-3644/article/view/252394> (дата обращения 25.02.2024)

УДК 621.039.57

## **ВАРИАНТЫ АРХИТЕКТУРЫ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЧАСТИ АЭТС С ВТГР**

Филимонов Андрей Артемович

Науч. рук. д-р техн. Наук, доц. Филимонова Антонина Андреевна

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

[vip.jokermigel@mail.ru](mailto:vip.jokermigel@mail.ru)

В статье предложены варианты архитектуры строительства химико-технологической части АЭТС с ВТГР для создания водорода с целью нахождения самого высоко эффективного способа его получения.

**Ключевые слова:** водород, реактор, химико-технологическая часть, риформинг, степень чистоты.

## **VARIANTS OF ARCHITECTURE OF CHEMICAL-TECHNOLOGICAL PART OF AETC WITH WTGR**

Filimonov Andrey A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[vip.jokermigel@mail.ru](mailto:vip.jokermigel@mail.ru)

In the article variants of architecture of construction of chemical-technological part of AETS with HTGR for creation of hydrogen with the purpose of finding the most highly effective way of its obtaining are offered.

**Keywords:** hydrogen, reactor, chemical-technological part, reforming, purity degree.

Идея использования специальных атомных реакторов малой мощности, а, именно, высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов (ВТГР) возникла в 1960-х гг. В России были определены 5 опытно-промышленных площадок для создания атомной энерготехнологической станции (АЭС) в г. Кирово-Чепецк, г. Димитровград, г. Котлас, г. Новополоцк, г. Нижнекамск. Уровень температуры теплоносителя на выходе из такого реактора позволяет обеспечить высокотемпературным теплом многие энергоемкие технологические процессы в нефтепереработке, нефтехимии, химической промышленности, металлургии, в том числе может обеспечить крупномасштабное производство водорода.

Химико-технологическая часть (ХТЧ) для АЭС с ВТГР представлена установками высокотемпературного получения водорода методом паровой и/или частично кислородной конверсии природного газа с последующей очисткой водорода от примесей оксидов углерода. Технологическая схема ХТЧ очень сложная в связи с необходимостью обеспечения работы при высоких температурах и давлениях, осуществлении одновременно нескольких химических процессов превращения и получения продуктов высокой степени чистоты с минимальным воздействием на экологию [1].

На рис. 1 представлена принципиальная схема ХТЧ для АЭС с ВТГР.

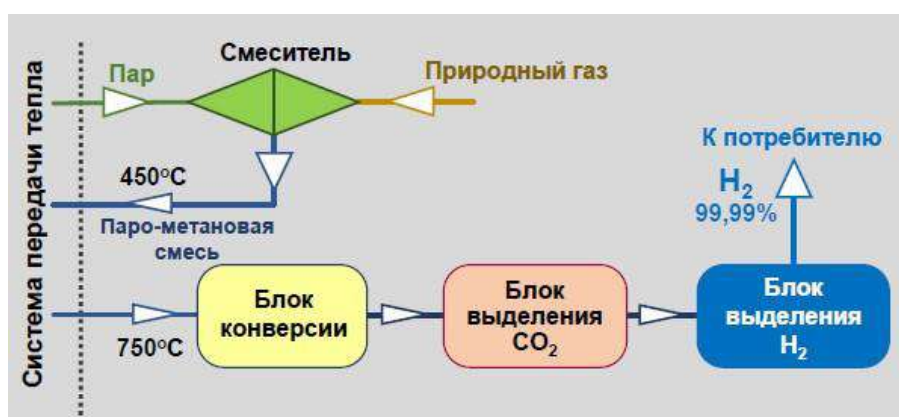


Схема химико-технологической части АЭС

Схема включает на первом этапе очистку природного газа от соединений серы, так как она негативно влияет на катализаторы риформинга и вызывает его деградацию. Далее очищенный природный газ соединяется с паром, полученным с помощью тепла ВТГР, и направляется,

проходя через теплообменник, в печь парового риформинга. После нее остаточное содержание метана в выходных газах может быть 6-10%. На втором этапе газовая смесь направляется в реактор частичного окисления. В реакторе такого типа за счет использования кислорода рабочая температура конверсии более высокая и процесс может идти в отсутствие катализатора. Однако, процесс требует использования чистого кислорода, получение которого очень энергозатратно. В случае использования водорода для последующего получения аммиака, можно в реактор частичного окисления подавать не чистый кислород, а воздух, содержащий, как известно, до 80% азота.

Вместо реактора частичного окисления возможен вариант использования автотермического риформинга, который представляет собой комбинацию процессов парового и частичного окисления метана. Эффективность установки реактора автотермического риформинга сопоставима на втором этапе с реактором частичного окисления [2].

После прохождения процесса риформирования синтез-газ необходимо очистить от нежелательных примесей оксидов углерода, что проводят в конверторе CO. В настоящее время используют двухэтапное конвертирование с использованием катализаторов и при температурах 200-300 °С, при взаимодействии паров воды с остаточным угарным газом и получением смеси водорода с углекислым газом.

Далее образовавшийся углекислый газ отмывают от водорода с помощью этаноламинов. На последнем этапе водород проходит через адсорбер или сепаратор для отделения остаточной воды и выходит к потребителю со степенью чистоты 99,9% [3].

Данный способ получения водорода для нефтехимической промышленности имеет высокие экологические параметры за счет отсутствия выбросов углекислого газа в окружающую среду, а также низкими затратами на органическое топливо, так как его теплотворная способность заменяется использованием ядерного топлива.

## **Источники**

1. ВТГР - новые перспективы ядерной энергетики / Н. Г. Абросимов, Н. Г. Кодочигов, Л. Е. Кузнецов [и др.] // Атомная энергия. – 2020. – Т. 129, № 1. – С. 51-53. – EDN CAFQSF.

2. Ермолаев И.С. Повышение эффективности процесса получения синтетических жидких углеводородов из природного газа: автореф. ... дис. к. техн. наук. Москва, 2019.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615882 Российская Федерация. Программа расчета процессов парового и автотермического риформинга легких углеводов : № 2023614807 : заявл. 15.03.2023 : опубл. 20.03.2023 / С. Р. Сайтов, Н. Д. Чичирова, А. А. Чичиров, А. А. Филимонова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет».

УДК 621-313.3

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗЕЛЕННОГО ВОДОРОДА

Хайрутдинов Артур Маратович

Науч. Рук. к-т. хим. наук, доц. Сироткина Лилия Витальевна

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

arturhai14@gmail.com

В данной статье рассматривается процесс проектирования модели электролизера получения водорода. Описываются этапы создания модели.

**Ключевые слова:** монополярный электролизер, зеленый водород, проектирование электролизной установки, материал электродов, риформинг, возобновляемая энергия.

## DESIGN OF AN ELECTROLYSIS PLANT FOR THE PRODUCTION OF GREEN HYDROGEN

Khairutdinov Artur M.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

arturhai14@gmail.com

This article discusses the process of designing a model of the electrolysis for the production of hydrogen. The steps of creating a model are described.

**Keywords:** monopolar electrolyzer, green hydrogen, electrolysis plant design, electrode material, reforming, renewable energy.

В настоящее время паровой риформинг метана считается основным методом получения водорода, так как он обеспечивает рентабельную стоимость продукта и высокую производительность оборудования [1]. Тем не

менее, исследователи продолжают разрабатывать другие альтернативные процессы, поскольку при этом методе в атмосферу выбрасывается большое количество углекислого газа, а природный газ представляет собой невозобновляемый источник энергии [3]. Большую роль среди технологий альтернативной энергии играет электролиз воды, который позволяет получить водород высокой степени чистоты [2].

Целью данного исследования является разработка критериев конструирования электролизера, на основе которых будет выбран оптимальный формат аппарата и создана его трехмерная модель. Полученная модель будет служить основой для создания опытного образца и проведения экспериментальных испытаний.

Для проектирования был выбран монополярный электролизер с плоскопараллельными чередующимися электродами, так как эта конструкция является наиболее эффективной из тех, которые можно реализовать с использованием доступных материалов и инструментов [6]. Эта конструкция показана на рисунке 1.

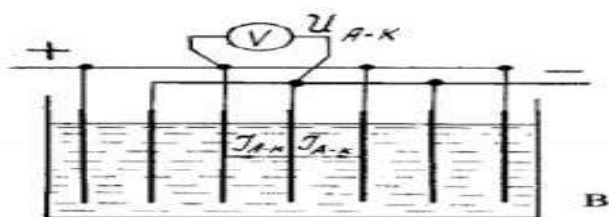


Рис. 1. Плоскопараллельный электролизер [5]

Перед проектированием нужно определить требования к его конструкции. Они будут следующими:

Электролизер должен иметь закрытую конструкцию для возможности отвода генерируемого газа в трубки [4].

Электролизер должен быть герметичным.

Для того, чтобы электролит и генерируемый газ могли перемещаться между ячейками в электродах должны быть специальные отверстия для этого.

Так как электролизер является экспериментальным нужно каждый электрод должен иметь свою контактную платформу для отдельного питания электричеством

Электролизер должен иметь прозрачные внешние стенки для возможности наблюдать за протекающим процессом электролиза воды.

Количество генерируемого газа должно быть достаточным для демонстрации возможностей водорода, как топлива

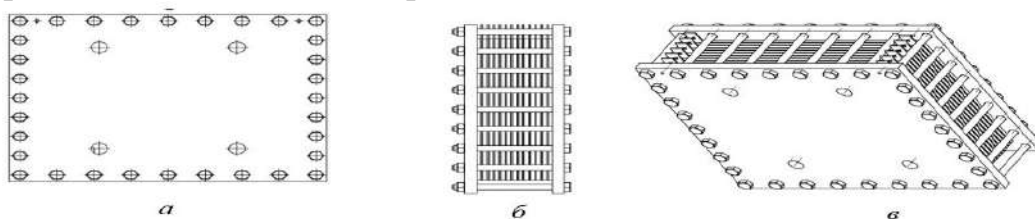


Рис. 2. Модель экспериментального электролизера: а-главный вид; б- вид слева; в- наглядное изображение

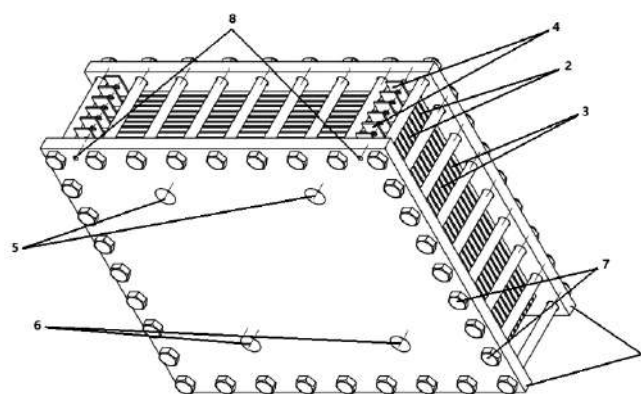


Рис.3: 1-наружные пластины из оргстекла. 2-стальные электроды марки 08Х18Н10. 3- прокладки из резины ТМКЩ 4- контакты электродов. 5- выходные отверстия. 6- отверстия для подачи электролита. 7- стяжные болты. 8- связующее отверстие

Данный электролизер выделяется на фоне аналогов простой конструкцией, доступностью материалов и повышенной производительностью в соотношении с размерами устройства. Эти отличия делают его привлекательным для изготовления и дальнейшего применения.

### Источники

1. Разакова, Р. И. Водородные технологии в современной металлургии / Р. И. Разакова, Х. В. Гибадуллина // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация» : Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 219-222. – EDN QOJWVK.



2. Гайнутдинова, Д. Ф. Водород в глобальной энергетической повестке / Д. Ф. Гайнутдинова // Актуальные вопросы и достижения современной науки : Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нур-Султан, 13 апреля 2022 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр "Мир науки" (ИП Вострецов Александр Ильич), 2022. – С. 11-14. – EDN MAYVWE.

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. Т. 22. № 6. С. 79-91.

4. 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.

5. Истомина Н.В., Сосновская Н.Г., Ковалюк Е.Н. Оборудование электрохимических производств. – Ангарск: АГТА, 2010 – 100 с.

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.

УДК 620.92

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА**

Хасанов Айрат Ахметович, Набиуллина Мадина Фаридовна

Науч. рук. к.т.н., доцент Вилданов Рустем Ренатович

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

Hasanov2015@gmail.com

В работе рассмотрено устройство плоского солнечного концентратора применительно в жилых комплексах. Проведен расчет эффективности процесса преобразования солнечной энергии в тепло и тепловой мощности концентратора в условиях солнечной инсоляции Республики Татарстан.

**Ключевые слова:** концентратор, инсоляция, расчет полезной тепловой мощности

## **INVESTIGATION OF THE OPERATION OF A FLAT SOLAR CONCENTRATOR FOR THE ENERGY SUPPLY OF A RESIDENTIAL COMPLEX**

Hasanov Airat A., Nabiullina Madina F.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
Hasanov2015@gmail.com

The paper considers the device of a flat solar concentrator applied in residential complexes. The calculation of the efficiency of the process of converting solar energy into heat and concentrator power in the conditions of solar insolation of the Republic of Tatarstan is carried out.

**Keywords:** concentrator, insolation, calculation of useful thermal power.

В последние годы растет интерес к использованию экологически чистых источников энергии, в том числе солнечной. Одним из перспективных решений является использование плоских солнечных концентраторов, которые позволяют эффективно преобразовывать солнечную энергию в тепло- и электроэнергию. В данном исследовании мы рассмотрим работу плоского солнечного концентратора и его применение для энергообеспечения жилого комплекса.

Плоский солнечный коллектор имеет следующую конструкцию: корпус, теплоизоляционный слой, теплопоглощающие материалы и трубы для теплоносителя, называемые абсорбером. Сверху конструкция покрывается прозрачным материалом для прохождения света. [1].

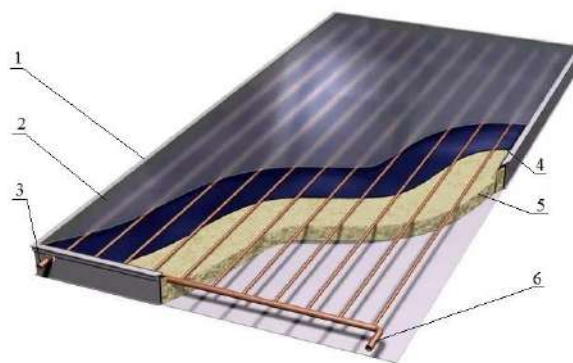


Рисунок. Устройство плоского солнечного коллектора.

1 – корпус; 2 – стекло; 3 – патрубок для подвода теплоносителя; 4 – абсорбер;  
5 – теплоизоляция; 6 – патрубок для отвода теплоносителя.

Солнечное излучение, падающее на поверхность солнечного коллектора, покрытого прозрачным для солнечных лучей материалом, практически без потерь проникает внутрь солнечного коллектора и,

попадая на теплоприемник, нагревает его, а процесс рассеивания тепловой энергии теплоприемника минимизирован.

Коэффициент полезного действия (КПД) теплового цикла плоского солнечного коллектора выражается формулой [2]:

$$\eta_{\text{СК}} = \frac{N_{\text{СК}}}{N_{\Sigma}^{\text{СИ}} \cdot S_{\text{СК}}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{СК}}$ , Вт – полезная тепловая мощность солнечного концентратора;  $N_{\Sigma}^{\text{СИ}}$ , Вт/м<sup>2</sup> – количество солнечной радиации;  $S_{\text{СК}}$ , м<sup>2</sup> – площадь поглощающей поверхности солнечного коллектора.

Формула для расчета полезной тепловой мощности солнечного коллектора:

$$N_{\text{СК}} = N_{\Sigma}^{\text{СИ}} \cdot \alpha \cdot \tau - \Delta N_{\text{СК}} \cdot (T_{\text{СК}} - T_{\text{ОС}}), \quad (2)$$

где  $N_{\Sigma}^{\text{СИ}}$ , Вт/м<sup>2</sup> – количество солнечной радиации;  $\tau$ , о.е. – пропускная способность светопропускающей панели солнечного коллектора (для силиконового стекла составляет 0,68);  $\alpha$ , о.е. – поглощающая способность абсорбера солнечного коллектора (для меди и пенополиуретана составляет 0,54 и 0,61 соответственно);  $\Delta N_{\text{СК}}$  – коэффициент тепловых потерь в СК;  $T_{\text{СК}}$  и  $T_{\text{ОС}}$ , К – средняя температура теплоносителя солнечного коллектора и окружающей среды, соответственно.

Значения тепловой мощности и КПД плоского солнечного коллектора для условий солнечной инсоляции Республики Татарстан (г. Казань) [3] представлены в таблице.

Таблица

Мощность и эффективность плоского солнечного коллектора

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Количество солнечной радиации, Вт / м <sup>2</sup>	680	1440	2820	4290	5520	5930	5720	4490	2860	1510	830	540

Тепловая мощность солнечного коллектора, Вт	129,01	294,83	600,42	927,87	1202,55	1294,42	1248,23	974,52	612,04	312,96	163,24	99,37
КПД	0,379	0,409	0,426	0,433	0,436	0,437	0,436	0,434	0,428	0,415	0,393	0,368

Использование плоских солнечных коллекторов в жилищных комплексах способно обеспечить жителей качественной горячей водой и создать экологически чистое электричество. Из расчетов мы видим, что чем выше солнечная инсоляция, тем выше КПД солнечного коллектора, что обуславливает использование баков-аккумуляторов для хранения нагретого теплоносителя для его дальнейшего использования потребителем.

### Источники

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с.
2. Ю.М. Антонов. Энергосберегающая автономная система энергообеспечения животноводческих и других сельскохозяйственных объектов // Агротехника и энергообеспечение – 2016 - №3 (12) - С. 34-40.
3. Значение солнечной инсоляции в г. Казань (Республика Татарстан) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.betaenergy.ru/insolation/kazan/> (Дата обращения 20.02.2024)

УДК 621.352

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ТВЕРДООКСИДНЫМ ТОПЛИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ И ГАЗОВОЙ МИКРОТУРБИНОЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ИНЫХ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Черкасов Александр Сергеевич

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Филимонова Антонина Андреевна

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан

Sanekpuer@mail.ru

В работе проведен анализ различных децентрализованных источников энергии с точки зрения особенностей принципа работы и эксплуатации.

**Ключевые слова:** твердооксидный топливный элемент, газовая микротурбина, децентрализованная энергосистема.

## **COMPARATIVE THEORETICAL ANALYSIS OF THE USE OF COMBINED POWER PLANTS WITH A SOLID OXIDE FUEL CELL AND A GAS MICROTURBINE RELATIVE TO OTHER DECENTRALIZED POWER PLANTS**

Cherkasov Alexander S.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Sanekpuer@mail.ru

The paper analyzes various decentralized energy sources from the point of view of the peculiarities of the principle of operation and operation.

**Keywords:** solid oxide fuel cell, gas microturbine, decentralized power system.

В настоящее время существуют различные способы выработки в децентрализованных энергосистемах как электрической и тепловой энергии в отдельности, так и когенерации, то есть комбинированной выработки электроэнергии и теплоты. [1] Среди доступных технологий имеются дизель-генераторы, газопоршневые агрегаты, газовые микротурбины, ветрогенераторы, фотоэлектрические панели, тепловые насосы. Отдельный интерес представляют твердооксидные топливные элементы. Принцип их основан на преобразовании путем электрохимических реакций подаваемого топлива в электрическую и тепловую энергию. В качестве топлива применяется водород, либо природный газ подвергаемый паровой конверсии для получения водорода. Возможна так же работа на различных газообразных отходах нефтехимических производств. Особенно эффективными такие топливные элементы могут быть при комбинированном использовании с газовыми микротурбинами. [2] В таком случае достигается достаточно высокий КПД до 65%.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ различных методов децентрализованной выработки электрической энергии и теплоты

Сравнение энергоустановки ТОТЭ/ГТ с другими децентрализованными энергоустановками

Наименование источника энергии	Преимущества	Недостатки
Фотоэлектрические панели [3]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- общедоступность и неисчерпаемость солнечной энергии;</li> <li>- длительный срок службы без ухудшения эксплуатационных характеристик;</li> <li>- не требуют дополнительного топлива;</li> <li>- наличие возможности модульного наращивания мощности;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- невысокий КПД (средний - 12 %);</li> <li>- зависимость от погодных условий и географического расположения;</li> <li>- требует установки дополнительного оборудования</li> <li>- необходимость в свободных площадях, особенно при масштабном генерировании энергии;</li> <li>- отсутствует режим когенерации;</li> </ul>
Ветрогенератор [4]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- возобновляемый и практически неисчерпаемый источник энергии;</li> <li>- ветряные турбины занимают мало места, что позволяет размещать их совместно с другими строениями и объектами;</li> <li>- относительно высокий КПД (до 35%);</li> <li>- не требуют топлива;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- зависимость от погодных условий и географического расположения;</li> <li>- требует установки дополнительного оборудования;</li> <li>- высокий уровень шума (может превышать 100 дБ);</li> <li>- генерация низкочастотных вибраций и радиопомех;</li> <li>- отсутствие режима когенерации;</li> </ul>
Теплонасосные установки [4]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доступный и возобновляемый источник энергии;</li> <li>- экономичность;</li> <li>- надежность и простота в обслуживании;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- высокие капитальные затраты;</li> <li>- зависимость от определенного природного источника низкопотенциального тепла;</li> <li>- обратная зависимость энергоэффективности от разницы температур между источником теплоты и</li> </ul>

		потребителем;
Дизель-генератор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доступность на рынке большего количества агрегатов;</li> <li>- надежность эксплуатации;</li> <li>- быстрота пуска;</li> <li>- независимость от внешних природных факторов;</li> <li>- наличие возможности модульного наращивания мощности;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость регулярных поставок дизельного топлива и резервуаров для его хранения;</li> <li>- наличие выхлопных газов;</li> <li>- отсутствует режим когенерации;</li> </ul>
Газопоршневой агрегат [5]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доступность на рынке большего количества агрегатов;</li> <li>- надежность эксплуатации;</li> <li>- быстрота пуска;</li> <li>- независимость от внешних природных факторов;</li> <li>- возможность режима когенерации;</li> <li>- наличие возможности модульного наращивания мощности;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость наличия централизованного газоснабжения (газопровода и ГРП);</li> <li>- наличие выхлопных газов;</li> </ul>
Твердооксидный топливный элемент с газовой микротурбиной	<ul style="list-style-type: none"> <li>- независимость от природных факторов;</li> <li>- возможность утилизации побочных продуктов нефтехимических предприятий;</li> <li>- наличие возможности модульного наращивания мощности;</li> <li>- высокий КПД комбинированной установки (до 65%);</li> <li>- возможность режима когенерации;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- труднодоступность на рынке;</li> <li>- низкая единичная мощность отдельных топливных элементов (250 кВт);</li> <li>- необходимость постоянной подачи топлива в виде метана (при наличии паровой конверсии) или водорода;</li> </ul>

В качестве вывода можно сказать что наличие таких преимуществ как высокий КПД, возможность когенерации, возможность утилизации побочных продуктов промышленности, делают применение энергоустановок на основе твердооксидных топливных элементов и газовых микротурбин перспективной, в то время как недостатки, связанные с малой мощностью отдельных блоков и пока малой доступностью на рынке, являются преодолимыми при дальнейшем развитии данной технологии.

### **Источники**

1. Ференец, А.А. Проблемы перехода к децентрализованной энергосистеме / А. А. Ференец // Передовые технологии и материалы будущего : сборник статей IV Международной научно-технической конференции «Минские научные чтения-2021», Минск, 9 декабря 2021 г. : в 3 т. – Минск : БГТУ, 2021. – Т. 3. – С. 251-254.

2. 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

3. Лукутин Б.В., Муравьев Д.И. Перспективы децентрализованных систем электроснабжения постоянного тока с распределенной солнечной генерацией Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 6. 184–196

4. Узаков Н., Камалов В. Оценка эффективности гибридной системы тепло и электроснабжения типового сельского дома //Innovatsion texnologiyalar. – 2023. – Т. 51. – №. 03. – С. 107-114.

5. Гольдинер А.Я., Цыпкин М.И., Бондаренко В.В. Газопоршневые электроагрегаты. СПб.: Галлея Принт, 2006. —240 с.

УДК 621.311.22

## **СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Чумаков Михаил Сергеевич

Науч. рук. асс. Бабиков Олег Евгеньевич

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

sumka\_m@mail.ru



Безопасная и бесперебойная эксплуатация подогревателей высокого давления является необходимой для надежной работы системы регенерации на тепловых и атомных электростанциях. Основной задачей данной работы является обзор систем защит подогревателей высокого давления, которые применяются на электростанциях энергетического сектора Российской Федерации.

**Ключевые слова:** подогреватель высокого давления, система регенерации, система защиты ПВД.

## **HIGH PRESSURE HEATER PROTECTION SYSTEM**

Chumakov Mikhail S.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

sumka\_m@mail.ru

Safe and uninterrupted operation of high-pressure heaters is essential for the reliable operation of the regeneration system. The main objective of this work is to review measures to protect high-pressure heaters that have proven themselves in the energy sector of the Russian Federation.

**Keywords:** high pressure heater, regeneration system, protection system.

В целях повышения КПД паротурбинных установок используется система регенерации, которая обеспечивает подогрев основного конденсата и питательной воды посредством отбора пара из турбины. В зависимости от назначения и условий эксплуатации, применяются два вида подогревателей: подогреватели высокого давления (ПВД) и подогреватели низкого давления (ПВД). В ПВД в отличие от ПНД поступает пар с более высокими параметрами, поэтому при эксплуатации ПВД к системам защиты предъявляются более строгие требования, которые должны соответствовать ГОСТ 24278, ГОСТ 12.1.003, а также ПБ 03-576-03 и РД 03-29-93. Согласно нормативным документам ввод оборудования в работу допускается только при наличии элементов защиты и их исправности [1].

Основную опасность для нормальной работы ПВД представляют возникновения неплотностей в трубной системе или её разрыв, что в случае отсутствия или неисправности защитных элементов приводит к заполнению корпуса подогревателя питательной водой. При этом вода может попасть в турбину по трубопроводу отбора пара. Если же трубопровод отбора пара окажется перекрыт запорной арматурой, то это вызовет повышение давления в корпусе теплообменника до давления

питательной воды и, соответственно, приведет к его механическому повреждению. В связи с возможным нарушением конструкционной целостности ПВД возникают риски для оперативного персонала станции и для остального технологического оборудования.

ПВД снабжают автоматическим групповым быстродействующим защитным устройством (БДЗУ), которое состоит из: быстродействующего впускного клапана с гидроприводом, который нужен для быстрого прекращения поступления питательной воды в трубные системы ПВД и открытия аварийного обвода питательной воды; двух параллельных перепускных труб, реализующих аварийный обвод питательной воды; обратного клапана на выходе питательной воды с последнего ПВД, который предотвращает поступление воды из трубопроводов питательной воды после ПВД и из аварийного обвода; трубопроводов подвода и слива конденсата от конденсатного насоса с необходимой арматурой [2].

В основе гидропривода лежит сварная конструкция, состоящая из цилиндра, в котором установлен поршень со штоком. В корпусе гидропривода имеется штуцер для присоединения импульсной линии, которая сообщает надпоршневое пространство гидропривода с трубопроводом от конденсатных насосов или с другой гидромагистралью. На импульсном трубопроводе перед гидроприводом впускного клапана устанавливаются параллельно два вентиля с электроприводом или два клапана с электромагнитным приводом. Для отвода жидкости из рабочего пространства гидропривода предусмотрены штуцеры, к которым подсоединяются дренажные трубопроводы.

Обратный клапан конструктивно схож с впускным клапаном. Поток подаваемой в подогреватель воды обеспечивает фиксацию тарелки обратного клапана.

БДЗУ работает следующим образом: между входом и выходом питательной воды устанавливаются дифманометры; при появлении течи в корпусе ПВД измерительные приборы фиксируют резкое повышение давления воды, а показания контрольного дифманометра (устанавливается на дроссельной шайбе) не изменяются, подается импульс-сигнал на привод впускного клапана, который задействует байпасную линию, в обход группы подогревателей питательной воды. Таким образом прекращается подача питательной воды в группу ПВД. В случае если уровень жидкости в корпусах ПВД продолжает расти, подается сигнал на отключение подогревателей и питательного насоса.

При срабатывании защитных механизмов и отключении ПВД существует вероятность превышения расчетного давления в корпусах.

Причиной тому служит прохождение конденсата или пара по линиям отвода конденсата греющего пара из вышестоящего по отбору подогревателя, если не закрыт регулирующий клапан уровня. В связи с этим, в турбоустановках с начальным давлением 9 МПа (90 кгс/см<sup>2</sup>) и выше, корпуса ПВД должны быть оснащены также предохранительными устройствами.

Также большое значение имеет регулирование уровня конденсата греющего пара в ПВД, так как превышение номинального уровня приводит к уменьшению поверхности конденсации пара, а, следовательно, к снижению эффективности подогрева питательной воды [3]. Помимо того, в случае поднятия уровня конденсата пара до места отсоса паровоздушной смеси нарушается интенсивность отсоса, что приводит к повышению парциального давления воздуха и уменьшению коэффициента теплопередачи.

Описанные способы защиты позволяют предотвращать аварийные ситуации и отказы оборудования и повышают надежность системы регенерации, что не только позволяет безопасно эксплуатировать подогреватели высокого давления, но и снизить затраты на ремонт и диагностику тепломеханического оборудования системы регенерации.

### **Источники**

1. Эксплуатация объектов котлонадзора. Справочник. Антикайн П. А., Зыков А. К. 1996 г.
2. Типовая инструкция по эксплуатации систем регенерации высокого давления энергоблоков мощностью. РД 34.40.509-93
3. Методика выполнения измерений расхода питательной воды за подогревателями высокого давления на тепловых электростанциях. РД 34.11.314-92

УДК 620.193.4

## **ПРОБЛЕМЫ КОРРОЗИИ И ЭРОЗИИ ЛАТУННЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ ТРУБОК**

Шарипов Аяз Радифович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Безруков Роман Евгеньевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aiazsha29@gmail.com

В статье рассматриваются проблемы, связанные с коррозией и эрозией латунных конденсаторных трубок, включая обесцинкование, коррозионную усталость, эрозионный износ и механические повреждения. Также рассматривается влияние различных параметров, таких как качество металла и агрессивность воды, на скорость коррозии латунных трубок.

**Ключевые слова:** конденсатор, повреждение трубок конденсатора, коррозия, эрозия.

## **PROBLEMS OF CORROSION AND EROSION OF BRASS CONDENSER TUBES**

Sharipov Ayaz R.  
KSPEU, Kazan, Russia  
aiazsha29@gmail.com

This article discusses the problems associated with corrosion and erosion of brass condenser tubes, including dezincification, corrosion fatigue, erosive wear, and mechanical failure. The influence of various parameters, such as metal quality and water aggressiveness, on the corrosion rate of brass pipes is also considered.

**Keywords:** condenser, damage to condenser tubes, corrosion, erosion.

Структурные компоненты, такие как корпус и трубные доски конденсаторов, изготавливаются из углеродистой стали, в то время как трубки, как правило, изготавливаются из медных сплавов за счет высокой устойчивости к коррозии и значительной теплопроводности медных сплавов.

В конденсаторах мощных турбин, таких как К-300-240, Т-250/300-240, общее количество конденсаторных трубок составляет 19500, с общей площадью поверхности одного конденсатора 5400 м<sup>2</sup>. Диаметр трубки - 28 мм, толщина стенки - 1 мм, длина - 8930 мм. Концы трубок надежно закреплены в отверстиях трубных досок методом вальцевания[1].

Поверхности конденсаторов турбин подвергаются воздействию коррозии как с паровой, так и с водяной стороны. Коррозионные повреждения проявляются в латунных конденсаторных трубках в форме общего и пробочного обесцинкования, а также коррозионной усталости.

Основной формой разрушения трубок является обесцинкование латуни. Этот процесс, включающий компонентно-избирательную коррозию цинка, сопровождаемую осаждением меди в виде рыхлых образований. Обесцинкование может иметь менее опасный сплошной

характер или принадлежать к пробочному типу – углубляющимся вглубь металла язвам, заполненным рыхлой медью. Этот вид коррозии может привести к быстрому разрушению стенок латунных труб [2].

Скорость обесцинкования зависит от качества металла и охлаждающей воды. На практике установлено, что при низком содержании солей (не более 200 мг/кг), хлоридов (менее 5 мг/кг) и отсутствии аммиака, нитритов и сероводорода скорость коррозии составляет 0,02–0,06 мм в год, обеспечивая срок службы в 10-20 лет [3]. Однако при загрязнении поверхностных вод скорость разрушения латуни может превышать 0,2 мм в год. Дополнительное введение небольших количеств олова, алюминия и никеля в латунь способствует повышению ее коррозионной стойкости. Коррозионное растрескивание, как одна из форм разрушения латуни, связано с наличием в сплаве растягивающих напряжений, возникающих из-за внутренних напряжений или воздействия внешних нагрузок. Латунные материалы также подвержены "ударной" коррозии, обусловленной процессом кавитации.

При эксплуатации конденсаторов необходимо учесть возможное возникновение трещин из-за коррозионной усталости. Этот вид коррозионного повреждения трубок связан с одновременным воздействием на них переменных напряжений и коррозионной среды. Условия для развития такой коррозии обычно возникают при появлении резонансных колебаний в окрестности турбин и конденсатных насосов.

Основная часть повреждений в трубной системе конденсаторов вызвана воздействием эрозионно-коррозионных процессов. На наружную поверхность трубок влияет капельно-ударная эрозия, в то время как на внутреннюю поверхность оказывает воздействие низкокачественная циркуляционная вода с взвесью, содержащей абразивные частицы. Интенсивное воздействие коррозии-эрозии на латунные трубки конденсаторов приводит к обогащению конденсата окислами меди, следовательно, загрязнению питательной воды. Повреждение целостности трубной системы конденсаторов, вызывающее приток охлаждающей воды, также способствует загрязнению конденсата различными примесями. В случае серьезных коррозионных повреждений может произойти срыв вакуума, требующий остановки работы блока.

Для защиты стальных трубных досок от воздействия коррозионно-активной охлаждающей воды, агрессивной по отношению к углеродистой стали, применяют разнообразные покрытия. Наирит и неопрен выступают в качестве покрытий, выполняя также роль уплотнения в соединениях труб с трубными досками.

Таким образом, эрозионно-коррозионные процессы играют ключевую роль в обогащении конденсата окислами меди и могут привести к срыву вакуума, требующему немедленной остановки блока. Потенциальные проблемы, связанные с водой, включают повреждение целостности трубной системы, вызванное коррозией, что может привести к притоку охлаждающей воды и загрязнению конденсата различными примесями. Выбор конструкционного материала для изготовления трубок конденсаторов является критическим аспектом в предотвращении эрозионно-коррозионных разрушений. Применение различных покрытий, таких как наирит и неопрен, на стальных трубных досках, помимо защиты от коррозии, также служит средством уплотнения в соединениях труб с трубными досками.

### **Источники**

1. Технологические схемы и оборудование Казанской ТЭЦ-1. В 2-х т.: учеб. пособие / Н.Д. Чичирова, В.П. Тюклин, Р.Р. Вилданов и др.; под общ. ред. Н.Д. Чичириной, В.П. Тюклиной. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. – Т. 1. – 264 с.

2. Мурманский Б.Е., Аронсон К.Э., Бродов Ю.М. ВЛИЯНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДСИСТЕМ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОТКАЗЫ ПАРОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК. Надежность и безопасность энергетики. 2017;10(4):322-329.

3. Гафуров Н.М., Зайнуллин Р.Р. ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН // Форум молодых ученых. 2017. №7 (11). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-povysheniya-nadezhnosti-raboty-kondensatorov-parovyh-turbin> (дата обращения: 27.02.2024).

УДК 621.31:004.7

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

Шипиловских Никита Александрович

Науч. рук., ассистент Базин Дмитрий Александрович

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

retman41@mail.ru

В данной работе обобщены современные технологии, применяемые в тепловых электрических станциях для повышения эффективности работы станции в целом. Рассмотрены инновационные методы автоматизации работы в разных областях теплоэнергетики с целью оптимизации работы предприятий и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, корпоративные информационные системы, цифровые двойники, инновации, энергоэффективность, управление энергопотреблением, мониторинг процессов, экологические аспекты.

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THERMAL POWER ENGINEERING

Shipilovskih Nikita Aleksandrovich  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
retman41@mail.ru

This paper summarizes modern technologies used in thermal power plants to improve the efficiency of the plant as a whole. Innovative methods of automation of work in different areas of thermal power industry are considered in order to optimize the operation of plants and reduce the negative impact on the environment.

**Keywords:** thermal power industry, corporate information systems, digital twins, innovations, energy efficiency, energy management, process monitoring, environmental aspects.

В современном мире все большую важность приобретает вопрос повышения энергоэффективности и внедрения инновационных технологий в теплоэнергетику [1-2]. Теплоэнергетика играет ключевую роль в удовлетворении энергетических потребностей промышленных предприятий, коммунальных служб и жилых домов. В России количество ТЭС составляет около 16-21% общего объёма производства энергии.

Основная цель оптимизаций заключается в выработке электрической и тепловой энергии, эффективном и экономичном использовании тепловой энергии, сокращении негативного воздействия на окружающую среду и создании комфортных условий для проживания и работы [3]. Важно также обратить внимание на рост цен на энергоносители, вызванный нестабильностью цен на сырье, повышением заработной платы, налоговой политикой и постоянным увеличением спроса на энергию.

В данном исследовании рассмотрено, какой вклад вносят инновационные технологии в развитие теплоэнергетической отрасли.

Во-первых, это внедрение корпоративных информационных систем (КИС) в отрасль теплоэнергетики [4-5]. Это приведёт к улучшению работы. Так как данные системы автоматизируют учёт и управление процессами в области теплоснабжения, что приводит к повышению эффективности предприятий и оптимизации расходов. КИС также обеспечивают оперативный доступ к данным, улучшают процессы принятия решений и повышают уровень безопасности и контроля за производственными процессами. Кроме того, внедрение данных систем в теплоэнергетику может положительно сказаться на экологии за счёт снижения выбросов вредных веществ в атмосферу.

Во-вторых, использование цифровых двойников в ТЭС [5]. Их смысл заключается в создании виртуальной копии реального оборудования и процессов на станции. Цифровой двойник получает данные из различных источников, таких как датчики, системы мониторинга и управления, и отображает информацию о состоянии оборудования, производственных процессах и энергетических параметрах станции в реальном времени. Работа данной системы в ТЭС заключается в анализе данных, прогнозировании возможных сбоев и аварий, оптимизации работы оборудования, планировании технического обслуживания и ремонта. Благодаря цифровым двойникам операторы ТЭС могут быстро реагировать на изменения в работе станции, принимать обоснованные решения и улучшать эффективность производства [6].

В заключение хочется сказать, что использование инновационных технологий в сфере теплоэнергетики имеет большой потенциал для повышения эффективности производства тепла, электроэнергии, холода (тригенерация), сокращения выбросов вредных веществ и обеспечения устойчивости энергосистемы в целом. Внедрение современных решений, таких как возобновляемые источники энергии, умные системы управления и цифровизация процессов, способно существенно улучшить ситуацию в отрасли и обеспечит надёжное энергоснабжение для населения и промышленности в будущем. Но не стоит забывать о недостатках внедрения КИС и цифровых двойников. Например, таких как высокие затраты на внедрение, необходимость обновления и поддержки, риски нарушения безопасности данных, необходимость квалифицированных кадров.

## **Источники**



1. Вилданов, Р. Р. введение в теплоэнергетику / Р. Р. Вилданов, А. Ш. Низамова. – Казань: отдел КГЭУ, 2014. – 181 с.

2. Luvai, Motiwalla Enterprise Systems for Management / Motiwalla Luvai, Thompson Jeff. – New Jersey: Pearson Education, 2009. – 356 с.

3. РосТепло: [электронный ресурс]. – URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2443](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2443) (дата обращения: 05.03.2024)

4. Афонин, А. В. Повышение эффективности управления фирмой путем внедрения корпоративной информационной системы / А. В. Афонин. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 25 (211). — С. 55-57. — URL: <https://moluch.ru/archive/211/51623/> (дата обращения: 05.03.2024).

5. Цифровые двойники / под редакцией д.т.н., профессора П. А. Созинова. - Москва: Радиотехника, 2022. - 311 с. - ISBN 978-5-93108-221-9

6. CYBERLINK: [электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vnedreniya-korporativnyh-informatsionnyh-sistem-v-21-veke?ysclid=lteha4om290733> (дата обращения: 05.03.2024)

УДК 621.039.534

## **ПРЕИМУЩЕСТВА И РИСКИ ЖИДКОСОЛЕВЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ**

Шомахмадов Ирек Басирович

Науч. Рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин

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

[masudshomakhmadov@gmail.com](mailto:masudshomakhmadov@gmail.com)

В данной работе представлены особенности жидкосолевых ядерных реакторов, а также их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** Расплавы солей, ЖСР, фториды.

## **ADVANTAGES AND RISKS OF LIQUID SALT NUCLEAR REACTORS**

Shomakhmadov Irek B.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[masudshomakhmadov@gmail.com](mailto:masudshomakhmadov@gmail.com)

This paper presents the features of liquid salt nuclear reactors, as well as their advantages and disadvantages.

**Keywords:** Melts of salts, LSNR, fluorides.

В жидкосолевых реакторах (ЖСР) вместо твердого топлива используется смесь из расплавленных фторидов лёгких металлов, таких как бериллий, калий и натрий, а также фторида делящегося материала (Рис.1). Делящимся веществом могут служить такие элементы, как уран, плутоний или торий [1].

Главная задача ЖСР – дожигание продуктов деления урана, использовавшегося в качестве топлива в реакторах типа ВВЭР [2]. Это решение позволит уменьшить количество радиоактивных отходов

Основное преимущество ЖСР - это отсутствие нужды в производстве тепловыделяющих элементов и последующей их переработке. Но подобное конструкционное решение имеет недостатки, ввиду отсутствия таких базовых барьеров безопасности как матрица топливных элементов и оболочка топливных элементов (Рис.2).

Данные реакторы имеют отрицательные паровой и температурный коэффициенты. Это означает, что при увеличении количества пара в активной зоне или при увеличении температуры реактивность будет падать [3].

Также подобный тип ядерных энергетических установок безопаснее реакторов с натриевым теплоносителем, таких как реакторы типа БН, за счёт использования расплава солей, т.к. они практически не взаимодействуют с водой [4]. Следовательно, риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с контактом с воды и теплоносителя, сводится к минимуму. Однако использование расплава фторидов будет приводить к увеличению коррозии конструкционных материалов.

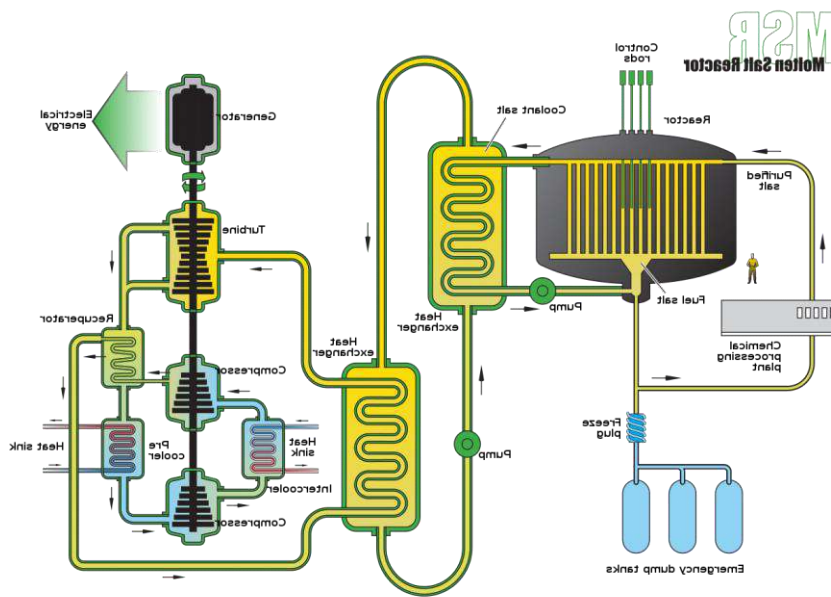


Рис.1 Схема работы жидкосолевого ядерного реактора



Рис.2 Барьеры безопасности на АЭС с ТВС

## Источники

1. Все, что вы хотели знать о жидкосолевым реакторе [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru/2020/09/21/vse-chto-vy-hoteli-znat-o-zhidkosolevom/>, 20.02.2023

2. Жидкосольевой реактор: от «бумаги» к «железу» [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://atomicexpert.com/zhidkosolevoy\\_reaktor](https://atomicexpert.com/zhidkosolevoy_reaktor), 20.02.2023

3. Чернобыль. ч.3. Терминологическая справка и суть рокового эксперимента / Хабр [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/556196/>, 22.02.2023

4. Р.Р. Хафизов, Е.Ф. Иванов, В.В. Привезенцев, А.П. Сорокин. Вопросы экспериментального моделирования процесса кипения натрия в модели ТВС быстрого реактора в аварийных режимах.

УДК 621.039.54

## УРАН-ТОРИЕВЫЙ ЦИКЛ КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Ямалов Булат Радикович

Науч. Рук. Старший преподаватель Бускин Руслан Владимирович

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

yamalovbulat720@mail.ru

Данная статья посвящена использованию тория как потенциального источника энергии в ядерной промышленности. Проанализированы его преимущества и недостатки. Установлены причины отсутствия коммерческих реакторов на уран-ториевом цикле.

**Ключевые слова:** торий, уран-ториевый цикл, ядерное топливо, уран, распад, радиоактивность.

## URANIUM-THORIUM CYCLE AS A SOURCE OF ENERGY IN NUCLEAR ENERGY

Yamalov Bulat R.

KSPEU, Kazan, Russia

yamalovbulat720@mail.ru

This article is devoted to the use of thorium as a potential energy source in the nuclear industry. Its advantages and disadvantages are analyzed. The reasons for the lack of commercial reactors on the uranium-thorium cycle have been established.

**Keywords:** thorium, uranium-thorium cycle, nuclear fuel, uranium, decay, radioactivity.

Ядерная энергетика – передавая, развивающая энергетическая отрасль в мире. Основным топливом является  $U^{235}$ , который содержится в природном уране в количестве 0,7%, остальные 99,3 составляют другие изотопы и  $U^{238}$ . Несмотря на то, что реакторы стали широко применяться относительно недавно, природного урана, согласно исследованиям, хватит

меньше чем на столетие. Поэтому ученые начали искать потенциальные ядерные топлива [2]. Одним из которых является торий.

Торий – радиоактивный металл, открытый в 1828 году. В природе встречается в единственной изотопной форме ( $\text{Th}^{232}$ ). Торий не имеет собственных руд, монацитовый песок и ферриторит- самые распространенные источники тория. Изучение тория продолжает привлекать внимание исследователей, поскольку он обладает потенциалом для использования в ядерной энергетике. Сам  $\text{Th}^{232}$  не способен делиться тепловыми нейтронами, так как имеет парное количество протонов и нейтронов. Если торий захватит 1 нейтрон, то образовавшийся  $\text{Th}^{233}$  распадется до  $\text{Pa}^{233}$ , который в свою очередь распадается до  $\text{U}^{233}$ . Для начала данного распада необходимо наличие делящегося изотопа. Далее цикл может продолжаться самостоятельно, если накопиться необходимое количество  $\text{U}^{233}$  [1].

Эксперименты с ториевыми реакторами ведутся с 1960-х годов до настоящего времени, однако все еще не было разработано проверенного реактора на уран-ториевом цикле, работающего в коммерческих целях. Исследования позволили выявить основные преимущества и недостатки уран-ториевого цикла [3].

Преимущества:

- 1) Количество тория в земной коре превышает запасы урана в 3 раза.
- 2) Ториевое топливо имеет более высокую температуру плавления.
- 3) Торий является воспроизводящим материалом с коэффициентом более 1.
- 4) Теплопроводность диоксида тория больше, чем у диоксида урана.
- 5) В энергетическом эквиваленте 1т тория эквивалентна 200т урана.
- 6) Можно использовать запасы оружейного плутония.

Недостатки уран-ториевого цикла:

- 1) У тория нет делящихся изотопов.
- 2) Накапливается  $\text{U}^{233}$ , обладающий гамма-излучением.
- 3) Торий не имеет собственных руд.
- 4) Технология отделения тория от примесей и его обработка недостаточно проработана.
- 5) Уран-ториевый цикл дороже.

Несмотря на преимущества тория, мировая атомная энергетика все еще использует традиционный урановый цикл, оставляя торий как «топливо будущего». Это обусловлено недостатками уран-ториевого цикла, которые подразделяются на:

1) Технологические сложности: отсутствие соответствующих технологий, которые позволят эффективно использовать торий в ядерной энергетике.

2) Экономические сложности: необходимость в крупных инвестициях в разработку новых технологий, на данный момент уран является более дешевым ядерным топливом, чем торий [4].

Таким образом, запасы тория являются перспективным топливом для ядерной энергетике, которые может стать ключевым элементом в обеспечении безопасной, чистой и эффективной энергии для будущих поколений.

### **Источники**

1. Алексеев, С. В. Торий в ядерной энергетике / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев. — Москва: Техносфера, 2014. — 288 с. — ISBN 978-5-94836-394-3. — Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/76154> (дата обращения: 18.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Габараев, Б. А. Атомная энергетика XXI века: учебное пособие / Б. А. Габараев, Ю. Б. Смирнов, Ю. С. Черепнин. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2013. - 250 с. - ISBN 978-5-383-00294-0. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383002940.html> (дата обращения: 14.02.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Бушуев, Н. И. История и технология ядерной энергетике : учебное пособие / Н. И. Бушуев. — Москва : МИСИ – МГСУ, 2015. — 232 с. — ISBN 978-5-7264-1060-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/73680> (дата обращения: 10.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Алексеев, С. В. Торий в ядерной энергетике / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев. — Москва: Техносфера, 2014. — 288 с. — ISBN 978-5-94836-394-3.

## Секция 2. Промышленная теплоэнергетика. Эксплуатация и надежность энергоустановок и систем теплоснабжения

УДК 620.9

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СЛОЯ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ LABVIEW И COMSOL

Абдуллин Тимербулат Радмирович

Науч. рук. к.т.н. Кондратьев Александр Евгеньевич

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

a@luftgaller.ru

В статье рассмотрены способы определения толщины теплоизоляционного слоя и проведено сравнение различных способов. Для расчётов использовались программные комплексы LabVIEW и COMSOL Multiphysics, проводящие расчёт обратными друг другу способами.

**Ключевые слова:** аэрогель, теплоизоляция, моделирование, базальтовое волокно, comsol, LabVIEW.

### DETERMINATION OF THE THICKNESS OF THE THERMAL INSULATION LAYER IN THE LABVIEW AND COMSOL SOFTWARE ENVIRONMENT

Abdullin Timerbulat R.

Scientific advisor Kondratiev A.E.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

a@luftgaller.ru

The article discusses methods for determining the thickness of the thermal insulation layer and compares various methods. LabVIEW and COMSOL Multiphysics software packages were used for calculations, which perform calculations in reverse ways.

**Keywords:** aerogel, thermal insulation, modeling, basalt fiber, comsol, LabVIEW.

Правильный подбор теплоизоляционного слоя и защита рабочего персонала промышленных зданий являются важными задачами в обеспечении безопасности и эффективности производства. Теплоизоляционные материалы помогают снизить потери тепла, сократить энергопотребление и защитить персонал от вредного воздействия высоких

температур. Выбор оптимального материала и его толщины позволяет достичь максимальной эффективности при минимальных затратах [1].

LabVIEW - это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования, предназначенная для тестирования, измерения и управления экспериментами в различных областях науки и техники.

COMSOL Multiphysics - это программное обеспечение для моделирования физических процессов и решения задач в различных научных и инженерных областях. COMSOL используется для разработки новых продуктов, оптимизации процессов и обучения в различных отраслях.

С помощью программы, созданной в LabVIEW, при указании некоторых исходных данных, таких как: температура наружного воздуха, температура теплоносителя или поверхности изолируемого объекта, необходимая температура теплоизоляционного слоя, скорость ветра и диаметр трубопровода, можно определить толщину теплоизоляционного слоя.

Фронтальная панель программы LabVIEW показана на рис. 1, с которой взаимодействует пользователь. В качестве примера расчёт проводился для аэрогелевого волокна.

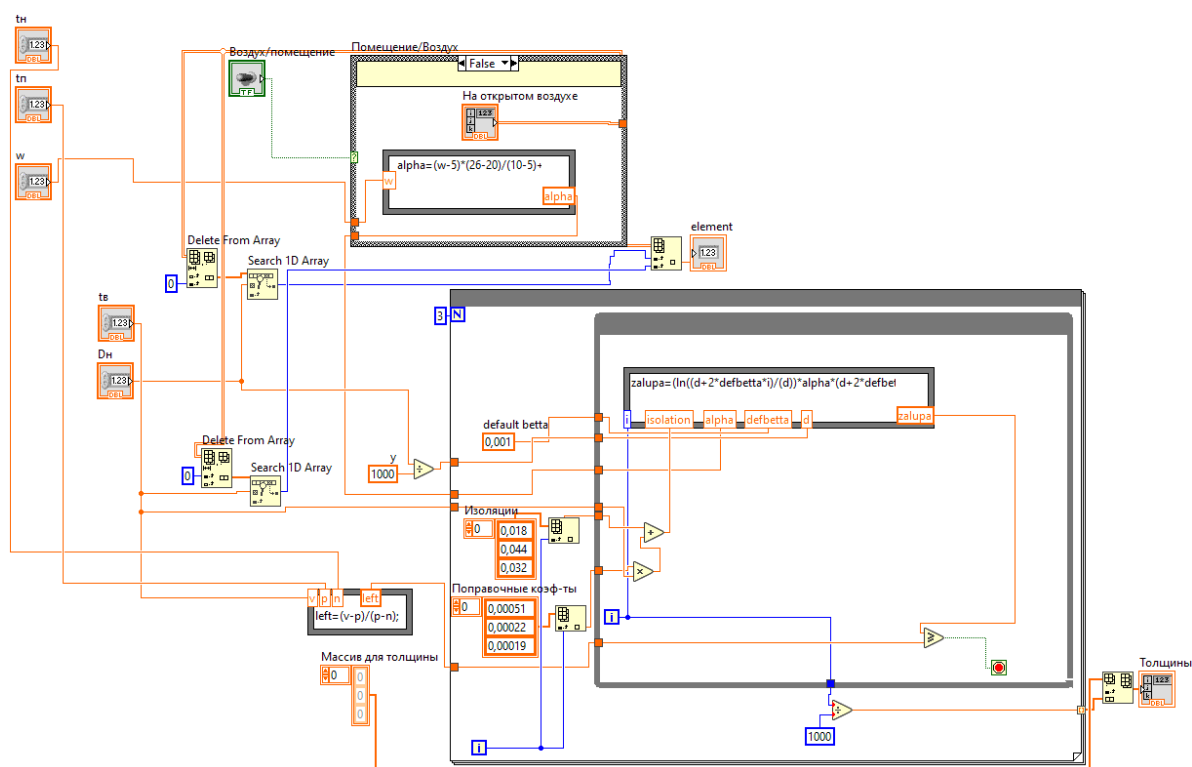


Рис. 1. Панель программного кода



Расчет необходимой толщины тепловой изоляции по заданной температуре наружной поверхности выполняется в соответствии с методикой, указанной в документе “СП 61.13330.2012” [2].

Расчёт выполняется по формуле 1:

$$\left( \frac{t_{\text{В}} - t_{\text{П}}}{t_{\text{П}} - t_{\text{Н}}} \right) = \frac{\ln \frac{d_{\text{Н}}^{\text{СТ}} + 2\delta_0 i}{d_{\text{Н}}^{\text{СТ}}} \alpha_{\text{Н}} (d_{\text{Н}}^{\text{СТ}} + 2\delta_0 i)}{2\lambda_{\text{ИЗ}}} \quad (1)$$

Задаётся начальное значение толщины изоляции  $\delta_0$ , м, определяемое требуемой точностью расчета, например, 0,001 м.

Последовательными шагами 1, 2, 3, ...,  $i$  для толщин изоляции:  $\delta_1 = 1\delta_0$ ;  $\delta_2 = 2\delta_0$ ;  $\delta_i = i\delta_0$  производятся вычисления [3].

На каждом шаге вычислений  $i$  производится сравнение двух последовательных значений. При выполнении условия:

$$\left( \frac{t_{\text{В}} - t_{\text{П}}}{t_{\text{П}} - t_{\text{Н}}} \right)_i - \left( \frac{t_{\text{В}} - t_{\text{П}}}{t_{\text{П}} - t_{\text{Н}}} \right)_p \geq 0 \quad (2)$$

вычисления заканчиваются, а найденная величина  $\delta_i = i\delta_0$  является с точностью до 1 мм заданной, обеспечивающей требуемую температуру поверхности изоляции.

Для оценки корректности вычислений применялся программный пакет COMSOL Multiphysics. На основе модели трубопровода и теплоизолирующего слоя из аэрогеля, вычисляется температура на внешней границе теплоизолятора при определенной толщине слоя аэрогеля.

В результате проведенных вычислений и моделирования, толщина теплоизолирующего слоя из аэрогеля составляет 10 миллиметров при расчетной температуре на поверхности трубы 220 градусов Цельсия и температуре наружного воздуха 20 градусов.

### Источники

1. Использование аэрогеля на ТЭЦ для повышения эффективности энергосбережения / Т. Р. Абдуллин, А. Е. Кондратьев, И. Г. Ахметова [и др.] // XIII семинар вузов по теплофизике и энергетике : тезисы докладов Всероссийской научной конференции, Нижний Новгород, 12–14 октября

2023 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2023. – С. 115-117. – EDN DSAJZB.

2. Базукова, Э. Р. Экономический эффект вариантов тепловой защиты трубопроводов энергетических комплексов / Э. Р. Базукова, Ю. В. Ваньков, Р. // Вестник КГЭУ. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 103-112. – EDN WPZRLD.

3. Experimental Assessment of the Thermal Conductivity of Basalt Fibres at High Temperatures / Y. Vankov, E. Bazukova, D. Emelyanov [et al.] // Energies. – 2022. – Vol. 15, No. 8. – DOI 10.3390/en15082784. – EDN BKNVSW.

УДК 532.542.4

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПОТОКА ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ**

Александров Роман Николаевич

Науч. рук. к.т.н. доц. Загретдинов Айрат Рифкатович

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

rgtv.ww@gmail.com

Целью работы является изучение гидравлического поведения потока, при разных режимах работы запорно-регулирующей арматуры, с использованием программного комплекса ANSYS Fluent.

**Ключевые слова:** CFD-моделирование, запорно-регулирующая арматура, турбулентность, ANSYS Fluent.

## **STUDY OF FLOW TURBULENCE UNDER DIFFERENT OPERATING MODES OF SHUT-OFF AND CONTROL VALVE**

Alexandrov Roman N.

Scientific advisor Zagretdinov A.R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rgtv.ww@gmail.com

The purpose of the work is to study the hydraulic behavior of the flow under different operating modes of shut-off and control valves, using the ANSYS Fluent software package.

**Keywords:** CFD modeling, shut-off and control valves, turbulence, ANSYS Fluent.

Трубопроводная арматура играет важную роль в составе многих технологических систем и широко используется во многих отраслях, таких как жилищно-коммунальное хозяйство, теплоэнергетика, химическая и нефтеперерабатывающая промышленность и другие [1]. Поведение потока в трубопроводной арматуре может быть очень сложным и зависит от многих факторов, таких как конструкция арматуры, свойства рабочей жидкости и условия эксплуатации [2].

Объектом исследования является клиновая задвижка с диаметром 15 мм, в которой протекает вода, присоединенная к трубе с диаметром 20 мм при помощи переходников. Были проведены эксперименты на лабораторном стенде, в ходе которого были получены значения давлений и расходов для различных положений клина задвижки, которые показаны в таблице 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента

Высота поднятия клина, мм	Давление на входе в задвижку, Па	Давление на выходе из задвижки, Па	Расход воды, л/мин
15	171325	116325	38,1
7,5	220325	107325	29,01
3,8	280325	101325	11,1
1,9	286325	101325	5,82

Рассмотрено четыре положения клина, представленные на рис. 1.

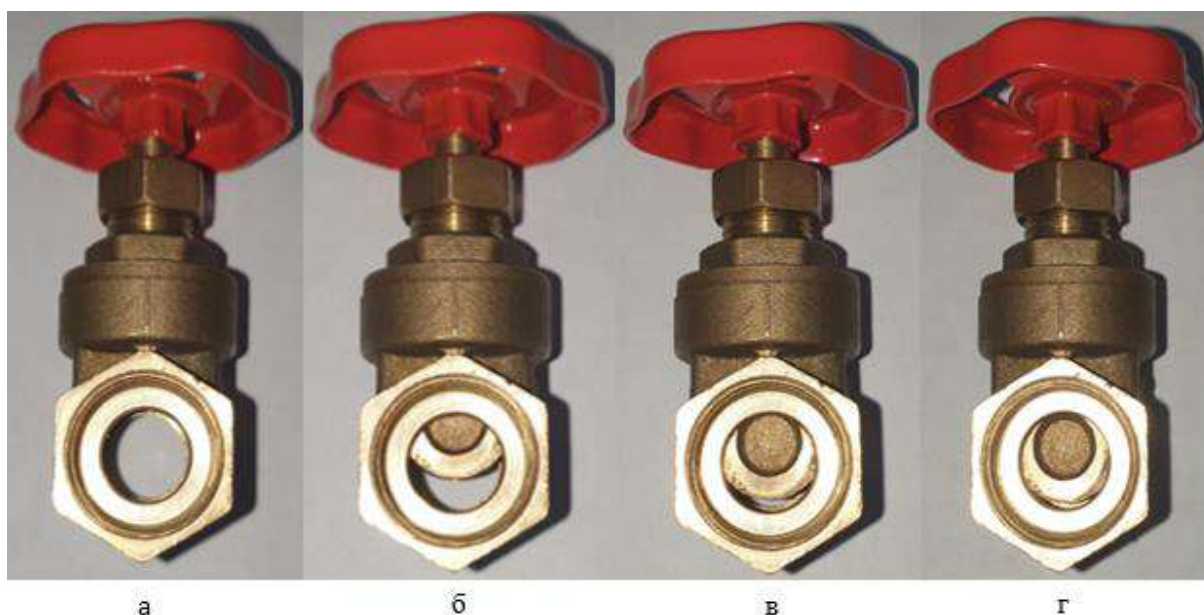


Рис. 1. Положение клина задвижки: а) высота поднятия 15 мм; б) высота поднятия 7,5 мм; в) высота поднятия 3,8 мм; г) высота поднятия 1,9 мм.

Создана двухмерная модель исследуемого объекта в программном комплексе ANSYS Fluent, расчеты проведены в стационарном режиме. При этом использовались: модель турбулентности k- $\omega$  SST, алгоритм решения SIMPLE с дискретизацией третьего порядка (Third-Order MUSCL), гибридная инициализация. Расчет считался сошедшимся при уровне невязок  $10^{-5}$ . На основе данных из таблицы 1 заданы следующие граничные условия: давление на входе и на выходе, скорость потока на входе.

Результаты моделирования представлены на рис. 2.

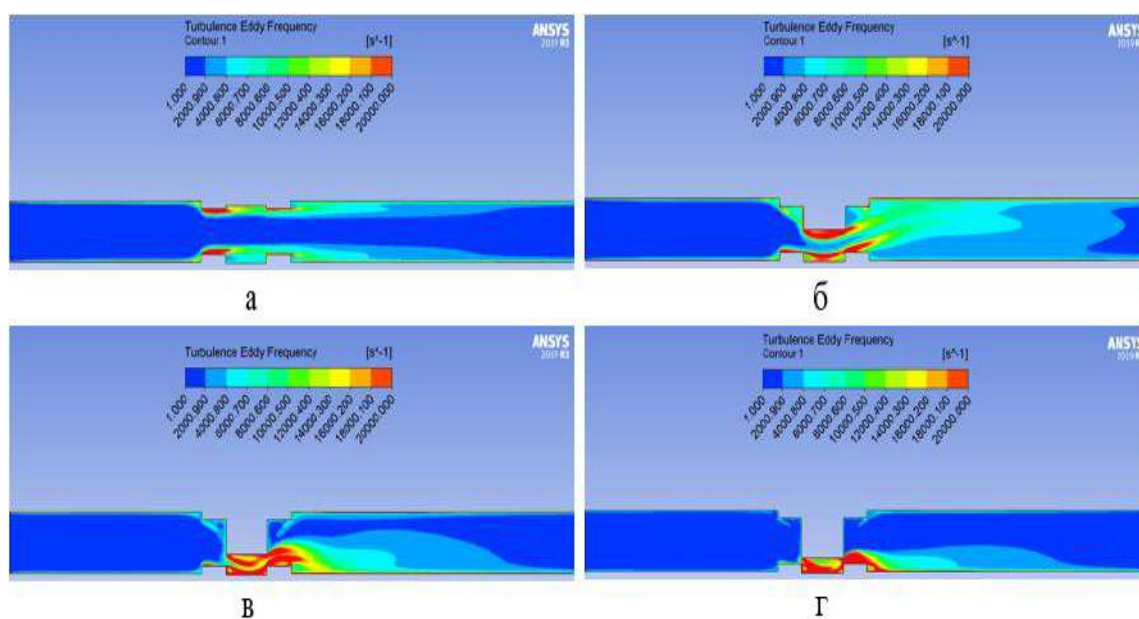


Рис. 2. Частота образования вихрей при разной высоте поднятия клина:

а) 15 мм; б) 7,5 мм; в) 3,8 мм; г) 1,9 мм.

Из полученных данных видно, что уменьшение проходного сечения задвижки приводит к значительному увеличению областей с высокой частотой образования вихрей.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10045, <https://rscf.ru/project/22-79-10045/>.*

## Источники

1. Zagretdinov A.R., Kazakov R.B., Mukatdarov A.A. Control the tightness of the pipeline valve shutter according to the change in the Hurst exponent of vibroacoustic signals. // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 124. 3 p.

2. Duan Y. et al. An assessment of eddy viscosity models on predicting performance parameters of valves // Nuclear Engineering and Design. 2019. Т. 342. С. 60 – 77.

УДК 620.9

## ОСОБЕННОСТИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Анцупов Никита Алексеевич

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Кондратьев Александр Евгеньевич

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

anikita74rus@gmail.com

В статье рассмотрен метод анализа вибрационных характеристик, определяющий степень износа трубопровода. Представлены способы регистрации характеристик вибрационных колебаний и их достоинства.

**Ключевые слова:** вибродиагностика, метод, трубопровод, вибрации, исследование.

## FEATURES OF VIBRATION DIAGNOSTICS OF PIPELINES

Antsupov Nikita A.

Scientific advisor Kondratiev A.E.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

anikita74rus@gmail.com

The article considers a method for evaluating vibration characteristics that determines the technical condition of the pipeline. Methods of measuring vibration readings and their advantages are presented.

**Keywords:** vibration diagnostics, method, pipeline, vibrations, research.

Вибродиагностика – это метод исследования, направленный на определение состояния технических систем, оборудования и различных конструкций путем анализа и оценки их вибрационных характеристик. Этот метод позволяет оценивать уровень износа, обнаружить дефект на ранней стадии, предотвратив серьезные поломки, сопровождаемые остановкой производства и дополнительными финансовыми тратами. Также такой метод способствует обеспечению безопасной и эффективной эксплуатации [1].

Эксплуатация энергетического оборудования должна проводиться под высокими требованиями к надежности и безотказности этого оборудования. Одним из важнейших элементов энергетического оборудования являются различные трубопроводы для транспортировки энергоносителей в виде жидких или газообразных сред.

Вибрации в трубопроводах могут быть вызваны различными факторами, такими как поток жидкости, давление, температура, а также возможные дефекты или повреждения. Отслеживание и анализ этих колебаний является ключевым элементом обследования состояния трубопроводов и предотвращения аварийных ситуаций [2].

Вибрация трубопроводов может быть оценена разнообразными методами и технологиями. Эти методы можно разделить на контактируемые с поверхностью и неконтактные.

Контактные методы измерения включают в себя применение датчиков, которые непосредственно прикрепляются к поверхности трубопровода для регистрации колебаний. Одним из наиболее распространенных контактных методов является использование ультразвуковых датчиков, которые могут точно измерять вибрацию стенок трубы. Эти датчики обладают высокой чувствительностью и способны регистрировать как низкочастотные, так и высокочастотные колебания. Так же широко применяются пьезоэлектрические датчики, познавательным параметром которых является виброперемещение, виброскорость и виброускорение [3].

В свою очередь бесконтактные методы измерения включают применение оптических систем или лазерных сканеров для регистрации колебаний поверхности трубопровода без необходимости прямого контакта с ней. Эти методы обеспечивают высокую точность и позволяют проводить измерения на больших участках трубопровода за короткие периоды времени [4].

Также использование методов вибродиагностики позволяет создать цифровую модель состояния всего трубопровода и каждого его элемента. С этой целью проводится математическое моделирование как самого трубопровода, так и процесса его колебания. Широко распространен конечно-элементный метод моделирования, где объект исследования разбивается на значительное множество отдельных конечных элементов, а изменение степени связи между этими элементами моделирует наличие или отсутствие дефектов. Анализ поведения математической модели в дальнейшем значительно упрощает контроль за всем процессом эксплуатации и обслуживания системы.

Обработка измеренных характеристик вибрационных колебаний трубопроводов является важной ступенью процесса обследования и оценивания состояния энергетического трубопровода. Этот этап включает в себя обработку полученных данных, их интерпретацию и выявление потенциальных проблемных зон. Комплексный подход учитывает не только состояние трубопровода, но и его конструкцию, материалы и эксплуатационные условия. Правильный анализ решает вопросы обслуживания и ремонта трубопроводов, но требует квалифицированных специалистов и специализированного программного обеспечения [5].

Из сказанного можно сделать вывод, что вибродиагностика позиционируется как серьезный способ диагностики для выявления технического состояния трубопроводов. Правильный анализ результатов диагностики играет ключевую роль в принятии обоснованных решений по обслуживанию и ремонту трубопроводов. Использование контактных и бесконтактных методов измерения вибраций позволяет точно и быстро оценить состояние трубопроводов, выявляя потенциальные проблемные зоны [6].

### Источники

1. Гапоненко, С. О. Перспективные методы и методики поиска скрытых каналов, полостей и трубопроводов виброакустическим методом / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2015. – № 2(47). – С. 9-13. – EDN TTVOAL.
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 ПQKZA.
3. Gaponenko, S. O. Low-frequency Vibro-acoustic Method of Determination of the Location of the Hidden Canals and Pipelines / S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, A. R. Zagretdinov // 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016), Chelyabinsk, 19–20 мая 2016 года. – Chelyabinsk: Elsevier Ltd, 2016. – P. 2321-2326. – DOI 10.1016/j.proeng.2016.07.312. – EDN XNKLCK.
4. Vankov Yu V and Kondrat'ev A E, 2004 Pribory i Sistemy Upravleniya (2) 45-53
5. Установка для калибровки пьезоэлектрических датчиков / С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, Е. Е. Костылева, А. Р. Загретдинов // Известия

высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 7-8. – С. 79-86. – EDN ХНХWOP.

6. Gaponenko, S. O. Device for Calibration of Piezoelectric Sensors / S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017, Saint-Petersburg, 16–19 мая 2017 года. – Saint-Petersburg, 2017. – P. 146-150. – DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.451. – EDN ХNXDGR.

УДК 621-313.3

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ПРОМЫШЛЕННЫХ КОТЕЛЬНЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ**

Архипов Александр Евгеньевич<sup>1</sup>, Мичурин Вадим Павлович<sup>2</sup>

Науч. рук. старший преподаватель КЭ Латушкина Светлана Викторовна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск, Иркутская область

<sup>1</sup>sashaarhipov@gmail.com, <sup>2</sup>seftirettf@gmail.com

В предложенной статье рассматриваются подходы к оптимизации процессов сжигания топлива в промышленных котельных с целью повышения эффективности и снижения вредных выбросов. Предлагаемые решения включают в себя использование новых технологий, а также оптимизация условий сжигания для достижения максимальной эффективности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду и экономических затрат.

**Ключевые слова:** оптимизация, сжигание топлива, эффективность, современные технологии сжигания, экологические аспекты, флекс-фьюэл, когенерация.

## **OPTIMIZATION OF FUEL COMBUSTION PROCESSES IN INDUSTRIAL BOILERS TO INCREASE EFFICIENCY AND REDUCE EMISSIONS**

Arkhipov Alexander E.<sup>1</sup>, Michurin Vadim P.<sup>2</sup>

Scientific advisor Latushkina S.V.

<sup>1,2</sup>BrStU, Bratsk, Irkutsk oblast

<sup>1</sup>sashaarhipov@gmail.com, <sup>2</sup>seftirettf@gmail.com

The proposed article examines approaches to optimizing fuel combustion processes in industrial boilers with the aim of increasing efficiency and reducing harmful emissions. The



suggested solutions include the utilization of new technologies as well as optimization of combustion conditions to achieve maximum efficiency while minimizing negative environmental impact and economic costs.

**Keywords:** optimization, fuel combustion, efficiency, modern combustion technologies, environmental aspects, flex-fuel, cogeneration.

Применение современных технологий сжигания играет ключевую роль в оптимизации работы промышленных котельных. Инновационные методы сжигания повышают эффективность процесса и снижают выбросы в атмосферу среди них можно выделить следующие: [1]

1. **Флекс-фьюэл** – гибкий метод использования разных видов топлива для котельной. Применяется в промышленных котельных, электростанциях и теплоснабжении зданий. Его использование возможно в различных отраслях, включая производство, пищевую промышленность и другие. Однако технология требует дальнейшего изучения.

2. **Газификация топлива** превращает уголь в синтез-газ для котлов, что эффективно использует различные углеводородные материалы и снижает выбросы вредных веществ за счет более полного сгорания. Применяется в различных отраслях, включая теплоснабжение, энергетику, металлургию и утилизацию отходов. Например, на Томской ТЭЦ-3 создан комплекс по газификации твердых топлив, который значительно сокращает расход твердого топлива [2].

3. **Когенерация** – производство тепла и электроэнергии из отходов производства, снижая выбросы и повышая энергоэффективность. Применяется в разных секторах, особенно в странах с высокими энергопотреблениями, таких как Дания, Финляндия и Нидерланды. Германия планирует увеличить долю когенерации с 13% до 25% [3].

Достоинства и недостатки каждого метода представлены в таблице

Метод	Достоинства	Недостатки	Стоимость
Флекс-фьюэл	1. Гибкость в выборе топлива 2. Уменьшение экологического воздействия	1. Сложность управления 2. Риск качества топлива	От 10000\$ до 1млн\$

Газификация топлива	1. Повышение эффективности 2. Снижение выбросов	1. Высокие инвестиционные затраты 2. Технические сложности	1,5 млрд руб
Когенерация	1. Энергетическая эффективность 2. Уменьшение выбросов 3. Возможность утилизации (использования) тепловой энергии	1. Ограниченная доступность 2. Низкая эффективность при низкой загрузке	750-800 евро за 1 кВт

В итоге, оптимизация процессов сжигания топлива в промышленных котельных важна для повышения эффективности и снижения выбросов. Выбор методов должен основываться на конкретных потребностях и условиях предприятия, учитывая экономические и экологические аспекты.

### Источники

1. Бадмаев, Ю. Ц. Котельные установки и парогенераторы / Ю. Ц. Бадмаев, Н. С. Хусаев, М. Б. Балданов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 68 с. [Электронный ресурс] <https://e.lanbook.com/book/322466> (дата обращения: 17.02.2024).
2. Гинзбург Д.Б., Канторович Д.Б. Газификация твердого топлива. Труды третьей научно-технической конференции. Москва, 1957. — 379 с.
3. Малая энергетика и когенерация: учебное пособие / составители А. Л. Иванов, В. В. Максимов. — Омск: СибАДИ, 2020. — 126 с. [Электронный ресурс] <https://e.lanbook.com/book/163743> (дата обращения: 17.02.24).

## ОТБОР ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ДЛЯ ЕЕ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ТЕПЛОНАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ

Бикеев Тимур Василевич

Науч. рук.: к-т техн. наук, доцент Плотникова Людмила Валерьяновна

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

tbikeevt@yandex.ru

В данной работе рассматриваются методы отбора геотермальной теплоты для теплонасосных станций. Анализируются различные типы теплообменников, используемых для извлечения геотермальной энергии из грунта.

**Ключевые слова:** температура грунта, энергоэффективность, теплонаносная система, теплоснабжение, геотермальное отопление.

## SELECTION OF GEOTHERMAL HEAT FOR ITS FURTHER TRANSFORMATION IN HEAT PUMP STATIONS

Bikeev Timur V.

Scientific advisor Plotnikova L.V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

tbikeevt@yandex.ru

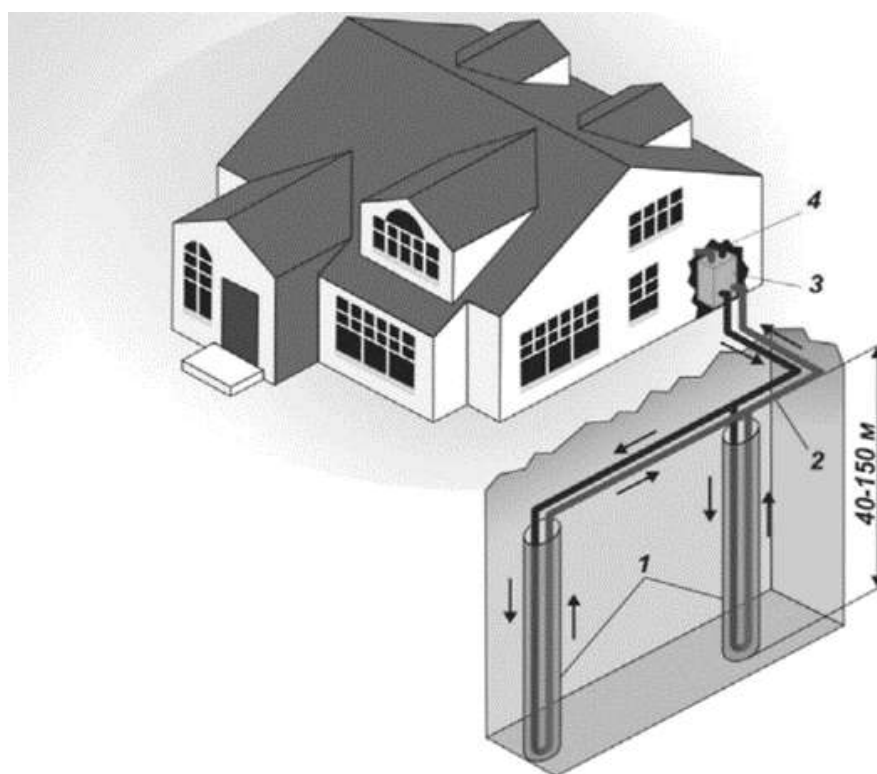
In this paper, the methods of geothermal heat extraction for heat pumping stations are considered. The various types of heat exchangers used to extract geothermal energy from the ground are analyzed.

**Keywords:** ground temperature, energy efficiency, heat pump system, heat supply, geothermal heating.

Теплонасосные станции являются эффективным решением для использования низкопотенциальной теплоты, обеспечивая одновременное покрытие потребностей в отоплении, горячем водоснабжении и кондиционировании воздуха. Основным их достоинством является их независимость от систем централизованного теплоснабжения и экологический эффект.

Рассмотрены два основных способа отбора геотермальной теплоты для теплонасосных станций: открытый контур, который напрямую использует теплоту грунтовых вод, и закрытый контур, который

использует теплоноситель для передачи теплоты от земли к тепловому насосу. Способ отбора геотермальной теплоты с открытым контуром предполагает извлечение грунтовых вод на поверхность, использование их тепловой энергии и возврат обратно в пласт. В способе с закрытым контуром теплоноситель циркулирует между грунтовым теплообменником, расположенным на определенной глубине, и испарителем теплонасосной станции, отбирая тепло от твердого грунта. Системы с закрытыми контурами далее подразделяются на горизонтальные и вертикальные в зависимости от типа грунтовых теплообменников. Принципиальная схема системы автономного теплоснабжения на основе теплонасосной станции с закрытым контуром и вертикальными грунтовыми теплообменниками показана на рисунке [1].



Принципиальная схема системы автономного теплоснабжения на основе теплонасосной станции с закрытым контуром и двумя вертикальными грунтовыми теплообменниками. 1-теплообменник в скважине, 2-контур незамерзающего теплоносителя, 3-тепловой насос, 4-контур отопительной воды

Вертикальные теплообменники в закрытых контурах, способные извлекать геотермальную теплоту с большой глубины, демонстрируют более высокую энергетическую эффективность, как показывают имеющиеся данные. Однако их установка обходится дороже, чем

горизонтальные грунтовые теплообменники аналогичной мощности. С другой стороны, горизонтальные теплообменники требуют больших площадей, что может стать препятствием в условиях плотной застройки.

Достоинством применения теплонасосных станций является дальнейшая трансформация отобранной геотермальной энергии на более высокий температурный уровень, что позволяет использовать энергию окружающей среды на нужды отопления и горячего водоснабжения.

На российском рынке представлен широкий ассортимент теплонасосного оборудования от ведущих мировых производителей [2]. Их продукция предназначена для среднеевропейских климатических условий и активно продвигается в России. Однако важно учитывать, что эксплуатация грунтовых теплонасосных установок в центральных регионах России происходит в геолого-климатических условиях, которые значительно отличаются от среднеевропейских: более низкие температуры грунта (например, 5-8 °С на глубине до 10 м вместо 10-15 °С) и в 1,5-2 раза более высокие интегральные показатели отопительного периода [3].

*Работа поддержана государственным заданием (№ 075-03-2024-226).*

### **Источники**

1. Калинин М.И., Хахаев Б.Н., Кудрявцев Е.П. Эффективное использование приповерхностных геотермальных ресурсов в геолого-климатических условиях центральных регионов России // Вестник Ярославского регионального отделения РАЕН. 2007. Т. 1. № 1. С. 20-26.

2. Rybach L. Sanner B. Ground-Source Heat Pump Systems the European Experience // Geo-Heat Center Quarterly Bulletin. 2000. Vol. 21. № 1. P. 16-26.

3. Sanner B., Kohlsch O. Examples of Ground Source Heat Pumps (GSHP) from Germany // International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy. Bad Urach. 2001. P. 81-94.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ: ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ БАЛАНСИРОВКА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

Гадецкий Владимир Юрьевич<sup>1</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Звонарева Юлия Николаевна<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>gadetskiy.1979@mail.ru, <sup>2</sup>skulinaun@mail.ru

Статья рассматривает значимость и процесс гидравлической балансировки систем теплоснабжения многоквартирных домов. Обсуждаются преимущества этой техники, такие как экономия энергии, повышение комфорта и увеличение срока службы оборудования. Описывается процесс балансировки и его основные этапы.

**Ключевые слова:** гидравлическая балансировка, теплоснабжение, многоквартирные дома, энергоэффективность, равномерное распределение тепла.

## EFFICIENCY OPTIMIZATION: HYDRAULIC BALANCING OF HEATING SYSTEMS IN APARTMENT BUILDINGS

Gadetsky Vladimir Yurievich<sup>1</sup>

Scientific advisor Zvonareva Yu. N.<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>gadetskiy.1979@mail.ru, <sup>2</sup>skulinaun@mail.ru

The article examines the importance and process of hydraulic balancing of heat supply systems of apartment buildings. The advantages of this technique are discussed, such as saving energy, increasing comfort and extending the service life of the equipment. The balancing process and its main stages are described.

**Keywords:** hydraulic balancing, heat supply, apartment buildings, energy efficiency, uniform heat distribution.

В современном мире энергоэффективность становится всё более важной составляющей обеспечения комфортных условий проживания в многоквартирных домах. Одним из ключевых аспектов обеспечения оптимальной работы систем отопления является гидравлическая балансировка. Этот процесс играет критическую роль в обеспечении равномерного распределения тепла по всем помещениям дома и снижении

энергопотребления. Давайте рассмотрим, что представляет собой гидравлическая балансировка и какие преимущества она приносит [1].

Гидравлическая балансировка - это процесс настройки системы отопления для обеспечения равномерного распределения тепла по всем контурам отопления в многоквартирном доме. Она основана на принципе установления оптимального расхода теплоносителя через каждый отопительный контур, что обеспечивает одинаковую температуру во всех помещениях [2].

Преимущества гидравлической балансировки [3]:

- Экономия энергии: Правильно сбалансированная система потребляет меньше энергии, так как уменьшается необходимость перепомпировки теплоносителя для компенсации перекосов в распределении тепла.

- Комфортное проживание: Равномерное распределение тепла обеспечивает комфортные условия проживания для жителей всех квартир, исключая появление холодных или горячих зон.

- Увеличение срока службы оборудования: Меньшие перегрузки на оборудование благодаря балансировке позволяют продлить его срок службы и снизить риски возникновения неисправностей.

- Снижение расходов на обслуживание: Меньшая нагрузка на систему уменьшает частоту необходимости проведения технического обслуживания и ремонтных работ.

Процесс гидравлической балансировки включает в себя ряд этапов [4,5]:

- Исследование системы. Оценка текущего состояния системы отопления, выявление дисбаланса и определение необходимых корректировок.

- Регулировка клапанов - ключевой этап гидравлической балансировки системы теплоснабжения многоквартирных домов. Специалисты настраивают клапаны для равномерного распределения тепла, изменяя пропускную способность контуров. Это позволяет удовлетворить потребности каждого помещения, обеспечивая комфортные условия и эффективное использование энергии.

- Установка дополнительного оборудования. В случае необходимости могут быть установлены дополнительные элементы, такие как насосы или регулирующие устройства, для обеспечения оптимального распределения тепла.

- Контроль и настройка. После проведения всех необходимых мероприятий осуществляется контрольный замер параметров системы и дополнительная настройка для достижения оптимальных результатов.

Гидравлическая балансировка систем теплоснабжения многоквартирных домов является важным шагом в повышении их энергоэффективности и обеспечении комфортных условий проживания для жителей. Этот процесс не только снижает энергопотребление, но и увеличивает надежность и срок службы оборудования. Внедрение гидравлической балансировки следует рассматривать как инвестицию в улучшение качества жизни и снижение эксплуатационных расходов.

### **Источники**

1. Коршунов, В.В., Хохлов, В.И. "Теплоснабжение. Учебник для вузов." Москва, Издательский дом МЭИ, 2017.
2. Коршунов, В.В., Хохлов, В.И. "Теплоснабжение. Отопление. Учебное пособие." Москва, Издательский центр "Академия", 2019.
3. Гордиенко, Г.А., Шишкин, А.В., Шишкина, Е.А. "Современные технологии и оборудование для систем теплоснабжения." Москва, Издательство "Лаборатория знаний", 2020.
4. Сидоров, А.В., Жилин, В.П. "Системы теплоснабжения. Проектирование, строительство, эксплуатация." Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2021.
5. Курганов, Д.В., Чалый, В.В. "Гидравлическое и тепловое балансирование систем отопления и вентиляции." Москва, Издательство "Стройиздат", 2018.

УДК 678.026

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Газизова Ралина Ниязовна

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

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

gazizova.ralina777@mail.ru

В данной статье рассмотрены современные технологии и способы эффективной работы систем теплоснабжения, обеспечивающий стабильный и качественный обогрев зданий и подвод горячей воды.

**Ключевые слова:** эффективность, теплоснабжение, потери тепла.



# WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM

Gazizova Ralina N.

Scientific advisor Zakirov R.N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

gazizova.ralina777@mail.ru

This article discusses modern technologies and methods of efficient operation of heat supply systems, providing stable and high-quality heating of buildings and hot water supply.

**Keywords:** efficiency, heat supply, heat loss.

В России потребление традиционных источников энергии, в частности природного газа, является одним из самых высоких в мире из-за обширной территории и резервов страны. И подразумевает использование различных видов ресурсов, путём преобразования их в электричество, горячую воду и пар. В данном тезисе мы рассмотрим именно тепловую часть выделяющейся энергии и способы повышения эффективности его транспортировки к потребителю и обратно.

Для начала скажем, что теплоснабжение осуществляется с помощью тепловых сетей, в которых циркулирует горячая вода или пар, поступающие из тепловых источников. Она играет важную роль в комфортном пребывании людей в зданиях и содействует экономии ресурсов. Однако стоит помнить про потери, которые могут возникать ввиду различных причин, таких как недостаточная изоляция, утечки пара, неэффективное использование оборудования и т.д. Потери в теплоснабжении могут привести к увеличению расходов на обогрев зданий, могут создать неудобства для потребителей и негативно сказаться на экономике компании, предоставляющей услуги теплоснабжения. Поэтому важно постоянно контролировать и минимизировать потери в системе теплоснабжения. Здесь появляется второе важное определение – эффективность. Эффективность в централизованной системе теплоснабжения означает способность системы предоставлять необходимое количество тепла или горячей воды при минимальных затратах на энергию и ресурсы.

Высокая эффективность в централизованной системе теплоснабжения важна для обеспечения её устойчивого и надежного функционирования. Повышение эффективности в системе теплоснабжения достигается за счет использования современных технологий, методов контроля и управления, а также оптимизации работы системы в целом.

Работа над совершенствованием своей энергетической политики, включая улучшение энергоэффективности оборудования тепловых сетей,

ведётся постоянно. Эти задачи, ставящиеся для модернизации систем теплоснабжения, неизменно актуальны обществу и по сей день, так как охватывают две большие проблемы, подразделяющиеся на вопросы экономического характера и технического. С точки зрения техники можно заметить ряд трудностей: эксплуатацию значительной части систем централизованного теплоснабжения с невысоким качеством его составляющих элементов; использование лимитированного количества эффективных технологий контроля и оценки состояния трубопроводов; недостаточное или неравномерное распределение тепла, приводящие к потерям; наличие многочисленных неавтоматизированных котельных небольшого размера с низким КПД [1].

В экономическом плане проблемы сопряжены с рынком, находящемся в состоянии перехода, когда естественная монополия становится конкурентной. Это происходит из-за того, что потребители принимают решение отказаться от услуг центрального теплоснабжения, ввиду завышенных цен на продукцию низкого качества. В результате чего уменьшается объём производства, а удельные затраты наоборот увеличиваются. Финансовое состояние предприятий, поставляющих тепловую энергию, может пойти на спад, в некоторых случаях привести к банкротству. В подобной ситуации требуется объединять экономические меры удержания и привлечения клиентов с административными. А задача государства в подобном случае контролировать конкурирующие стороны, устанавливать правила по объективному количественному учёту и качественным параметрам товара [2].

Для обеспечения энергоэффективности в системе теплоснабжения используются различные технологии и методы. Например, установка высокоэффективных котельных и насосов, улучшение изоляции трубопроводов, применение системы управления и мониторинга, оптимизация работы системы в зависимости от потребностей клиентов и т.д. Повышение энергоэффективности в централизованной системе теплоснабжения помогает снизить расходы на энергию, уменьшить потери тепла, сократить выбросы парниковых газов [3]. Исходя из этого, энергоэффективность играет важную роль в современных системах теплоснабжения и помогает сэкономить ресурсы и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Подведём итоги вышперечисленного, при рассмотрении технической составляющей проблем, необходимо модернизировать и расширять тепловые сети, внедрять новые энергосберегающие технологии и материалы, позволяющие уменьшить потери тепла и увеличивающие эффективность передачи энергоносителя от источника к потребителю. Это будет включать в себя утепление труб, установку современного оборудования, использование высокоэффективных теплообменников, мониторинг и анализ системы теплоснабжения, которые позволят выявить

проблемы и недостатки. В случае экономических вопросов, для достижения наивысшей эффективности в рамках действия рыночной конкуренции, целью государства должно стать создание условий свободного функционирования рынка, т.е. конкуренция обязана осуществляться — всюду, где возможно, а регулирующий аппарат государства — там, где необходим [2].

### **Источники**

1. Губин В.И. Повышение эффективности ТЭЦ путем их использования в городской инженерной: дис. к-та техн. наук. Ульяновск, 2018.
2. Лымаренко В.М. Естественная монополия и методы ее регулирования // Задачи процесса контроля и регулирования цен. Санкт-Петербург 2016. С. 14–28.
3. Батухин А.Г., Басс М.С., Батухин С.Г. Методы повышения эффективности функционирования современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии // Научные проблемы транспорта в Сибири и Дальнего Востока. 2009. №2 С. 199-202.

УДК 621.311:620.1

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В СТЕКЛОПЛАСТИКОВОМ ТРУБОПРОВОДЕ**

Ямилева Алсу Рузилевна

Науч. рук. к.т.н., доц. Гапоненко Сергей Олегович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
galimovaar00@mail.ru

В статье проведено описание математической модели интеллектуальной обработки данных колебательных процессов, возбуждаемых в стеклопластиковом трубопроводе. Процесс позволяет с высокой точностью и результативностью регистрировать возбужденные механические колебания в упругой оболочке объекта за счет записи затухающего сигнала колебания стенок трубопровода пьезоэлектрическим датчиком. Представлены результаты исследования наиболее характерных частот, позволяющие идентифицировать трубопровод с дефектом в виде трещины.

**Ключевые слова:** колебательный процесс, характерные частоты, расчет, диагностика, сигнал.

# MATHEMATICAL MODEL OF VIBRATIONAL PROCESS IN FIBERGLASS PLASTIC PIPELINE

Yamileva Alsu R.

Scientific advisor Kondratiev A.E.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

galimovaar00@mail.ru

The article describes a mathematical model for the intelligent processing of data from oscillatory processes excited in a fiberglass pipeline. The process makes it possible to record excited mechanical vibrations in the elastic shell of an object with high accuracy and efficiency by recording a damped vibration signal of the pipeline walls with a piezoelectric sensor. The results of a study of the most characteristic frequencies are presented, which make it possible to identify a pipeline with a defect in the form of a crack.

**Keywords:** oscillatory process, characteristic frequencies, calculation, diagnostics, signal.

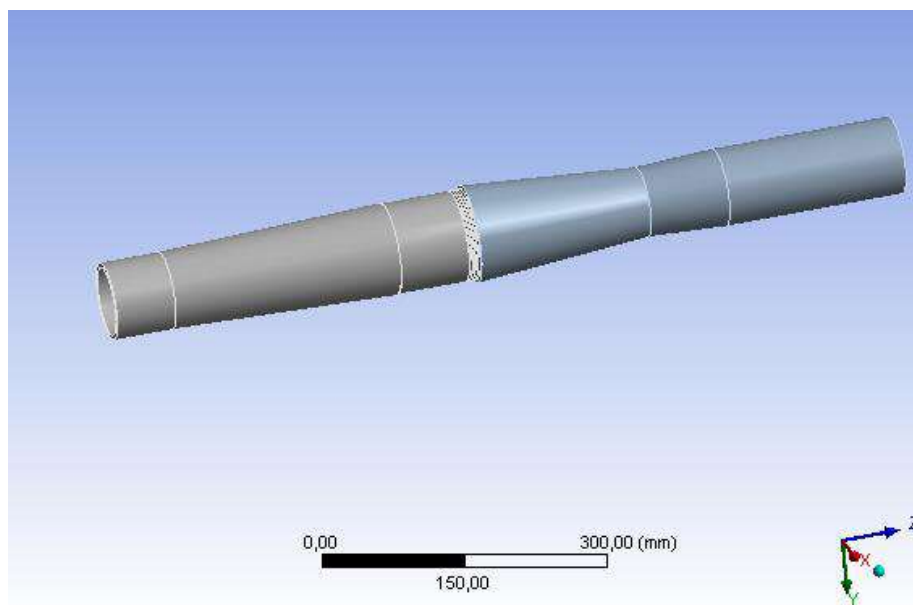
Численное моделирование колебательного процесса является важным составляющим в эффективности проведения технического состояния и диагностики стеклопластикового трубопровода. Полученные результаты информативных частот, по которым можно идентифицировать дефект, позволяют достоверно оценивать техническое состояние трубопроводов, определять безопасные технологические режимы работы оборудования, устанавливать необходимость и порядок изъятия участков трубопроводов для ремонта [1].

На сегодняшний день для перекачки различных энергоносителей используются трубопроводы из различных металлических и неметаллических материалов. Оценка работоспособности и исправности трубопровода заключается в отсутствии различных дефектов в виде трещины, вмятины, расслоения и т.д. В связи с этим задача проведения эффективной и экономически целесообразной технической диагностики трубопроводов является актуальной [2,3].

Цель работы - исследование информативных частот, идентифицирующие дефект в объекте с применением математической модели интеллектуальной обработки данных[4].

В ходе работы была построена математическая модель объекта - трубопровода в программном комплексе ANSYS. Проведен расчет собственных частот на основе модального анализа и определены зависимости влияния дефектов трубопроводов на собственные частоты

колебаний в условиях сложных динамических воздействий. Присутствие механических или структурных изменений в объекте контроля регистрируются и обрабатываются в программном комплексе (см. рисунок).



3D модель стеклопластикового трубопровода

Ход исследования представляет собой несколько этапов. На объект устанавливают источник колебаний. Источник колебаний – это инерциальный резонатор, который состоит из электропривода и эксцентрика. При вращении эксцентрика возникают инерционные силы, реализующие вибрационное воздействие на стенку упругой оболочки. После мгновенного отключения резонатора проводится регистрация затухающих колебаний стенок трубопровода пьезоэлектрическим датчиком. Записанный сигнал по временным интервалам позволяет выявлять наличие и размеры дефектов.

В результате исследования в программном комплексе ANSYS были определены наиболее характерные частоты, идентифицирующие дефект в стеклопластиковом трубопроводе в виде трещины: 1122,6; 2676,6; 3398,5; 4544; 8703,5 Гц в зависимости от мод колебаний.

### **Источники**

1. Гапоненко С.О. Система автоматизированного мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса трубопроводного транспорта на

основе энтропийной параметризации вибродиагностических сигналов // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы XII Международной научно-технической конференции. Том Часть II. Нижний Новгород. 2022. С. 174-177.

2. Галимова А.Р. Виброакустический метод контроля оценки технического состояния трубопроводных транспортов // Энергетика и энергосбережение теория и практика. Сборник материалов международной научно-практической конференции. Издательство: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. 2023. С. 118.

3. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е., Мустафина Г.Р. 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.

4. Галимова А.Р. Анализ влияния внешних факторов на значения параметров собственных колебаний трубопровода / А. Р. Галимова, А. Е. Кондратьев, С. О. Гапоненко // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация": Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26–28 апреля 2023 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 349-352. – EDN NUHВAT.

УДК 620.9

## **ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Гафиатуллина Камиля Расуловна<sup>1</sup>, Мухамедзянов Дамир Ринатович<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ваньков Юрий Витальевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>Kgafiatullina@yandex.ru, <sup>2</sup>damir2002god@mail.ru

В статье рассматривается влияние тепловой изоляции на эффективность теплообменного оборудования и предлагается использование программы COMSOL Multyphysics для моделирования процессов теплопередачи.

**Ключевые слова:** теплообменное оборудование, тепловая изоляция, эффективность теплообменного оборудования, аэрогель, COMSOL Multyphysics.

# THE EFFECT OF THERMAL INSULATION ON THE EFFICIENCY OF HEAT EXCHANGE EQUIPMENT

Gafiatullina Kamilya R.<sup>1</sup>, Mukhamedzyanov Damir R.<sup>2</sup>

Scientific advisor Vankov Yu.V.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>kgafiatullina@yandex.ru, <sup>2</sup>damir2002god@mail.ru

The article examines the effect of thermal insulation on the efficiency of heat exchange equipment and suggests the use of the COMSOL Multiphysics program for modeling heat transfer processes.

**Keywords:** heat exchange equipment, thermal insulation, efficiency of heat exchange equipment, aerogel, COMSOL Multiphysics.

Эффективность работы теплообменного аппарата определяется эффективностью теплопередачи - процесса передачи тепла от одной среды (теплоносителя) к другой через разделяющую их стенку. Эффективность теплопередачи зависит от ряда факторов, таких как разница температур между теплоносителями, теплопроводность материала стенки, площадь поверхности теплообмена [1].

Также важным фактором, влияющим на эффективность теплообменного аппарата, являются потери тепла в окружающую среду. Для уменьшения этих потерь используются различные виды тепловой изоляции, которые позволяют снизить потери тепла и повысить общую эффективность оборудования [2]. Это достигается за счет использования материалов, отвечающих требованиям теплотехнической эффективности, эксплуатационной надежности и долговечности, пожарной и экологической безопасности. К таким изделиям относятся: волокнистая изоляция (минеральная вата, стеклянное волокно, теплоизоляционный материал на основе кварцевого волокна, аэрогелевое волокно), вспененные материалы (вспененный полиэтилен, вспененный синтетический каучук, пеностекло, армопенобетон, пенополиуретан и пенополимерминерал), экранно-вакуумная изоляция. Эти материалы создают барьер между теплообменным оборудованием и окружающей средой, предотвращая передачу тепла и снижая потери энергии.

В результате использования тепловой изоляции оборудование становится более энергоэффективным [3]. Это приводит к снижению затрат на электроэнергию и улучшению общей производительности системы.

Одним из перспективных материалов для применения в качестве теплоизолятора является аэрогель, обладающий уникальными качествами, выдающимися теплоизоляционными свойствами и стойкостью к

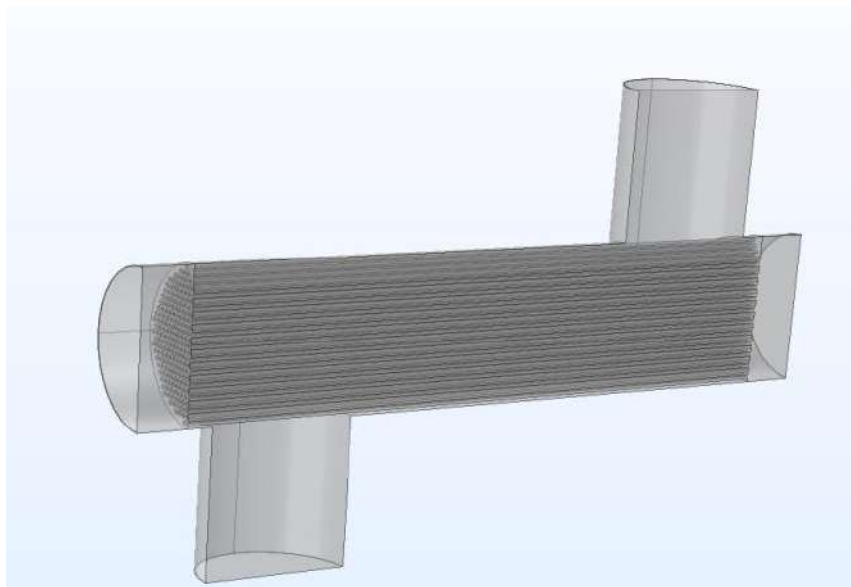
химическим реакциям. Аэрогелям свойственен низкий коэффициент теплопередачи (0,013 – 0,014 Вт/м·К) [4].

Поскольку аэрогель и композиты на его основе по многим теплофизическим свойствам превосходят традиционные теплоизоляционные материалы [5], применение его на теплообменном оборудовании позволит повысить его эффективность и снизить затраты на производство тепловой энергии.

Чтобы оценить влияние тепловой изоляции на производительность теплообменного аппарата, можно использовать программу COMSOL Multyphysics для моделирования теплообменных процессов. COMSOL позволяет построить расчетную модель теплообменника, задать параметры материалов и характеристики теплоносителя.

Для расчета процессов теплообмена при турбулентном течении в водо-водяном теплообменном оборудовании используется интерфейс турбулентного течения, который позволяет моделировать однофазные потоки при высоких числах Рейнольдса. Уравнения, которые решает интерфейс турбулентности потока на границе раздела  $k-\epsilon$ , представляют собой уравнения Навье–Стокса, описывающие сохранение импульса, и уравнение неразрывности, выражающее сохранение массы. Для расчета теплопередачи через теплопроводность, конвекцию и излучение используется интерфейс теплообмена в жидкостях. Температурное уравнение, применяемое для текучих сред, соответствует уравнению конвективного переноса.

Для оценки влияния тепловой изоляции на эффективность водо-водяного теплообменного аппарата и последующего проведения расчетов была построена математическая модель (см. рисунок).



Модель водо-водяного теплообменного оборудования



В заключение, использование тепловой изоляции и программного обеспечения COMSOL Multyphysics является ключевым фактором для успешного расчета процессов теплообмена, экономии энергии и создания высокоэффективного теплообменного оборудования.

Работа выполнялась в рамках гос. задания №075-03-2024-226/1 от 15.02.2024.

### **Источники**

1. Калашников А. М., Капелюховская А. А., Чернов Г. И. Исследование эффективности теплообменных аппаратов систем рекуперации тепловых потерь с твердой изоляцией в мобильной компрессорной установке с разной степенью давления //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – №. 3. – С. 372-383.

2. Калашников А. М. Классификация и сравнительная оценка методов повышения эффективности теплообменников для системы рекуперации тепловых потерь технологического оборудования //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – №. 6. – С. 237-244.

3. Луданов К. И. Обобщенные методы теплового расчета кожухотрубных теплообменников-рекуператоров. Аналитический обзор //Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – №. 15 (137). – С. 17-28.

4. Гафиатуллина, К. Р., Крайков, М. Д., Ваньков Ю.В. Перспектива применения многослойной теплоизоляции на основе композита из аэрогеля //Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. — Казань, 2022. — С. 974-976.

5. Гафиатуллина, К. Р., Крайков, М. Д., Ваньков Ю.В. Модель многослойной теплоизоляции на основе композита из аэрогеля //Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. — Казань, 2022. — С. 949-951.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЧЕХЛОВ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Гафиатуллина Камиля Расуловна

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ваньков Юрий Витальевич

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

Kgafiatullina@yandex.ru

В статье рассматривается изменение свойств термочехлов на основе аэрогеля при ускоренном старении в климатической камере.

**Ключевые слова:** термочехол, аэрогель, климатическая камера, теплоизоляционные материалы.

## INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF AEROGEL- BASED THERMAL COVERS UNDER CLIMATIC TESTING CONDITIONS

Gafiatullina Kamilya R.

Scientific advisor Vankov Yu.V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Kgafiatullina@yandex.ru

The article discusses the change in the properties of aerogel-based thermal covers during accelerated aging in a climate chamber.

**Keywords:** thermal insulation cover, aerogel, climate chamber, thermal insulation materials.

Теплоизоляционные материалы, предназначенные для работы при высоких температурах, призваны решить целый ряд задач, связанных с уменьшением потерь тепла во время эксплуатации оборудования и тепловых систем. Это способствует снижению затрат на энергию, увеличению эффективности функционирования и, одновременно, защите окружающей среды от негативного влияния высоких температур. Такие теплоизоляционные материалы исключают выбросы вредных субстанций, что, в свою очередь, уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду [1].

Одним из перспективных материалов в качестве тепловой изоляции является аэрогель, который обладает уникальными свойствами, высокими теплоизоляционными характеристиками и устойчивости к химическим воздействиям. Аэрогели обладают низким коэффициентом теплопроводности (0,013 – 0,014 Вт/м·К).

Поскольку аэрогель и композиты на его основе по многим теплофизическим свойствам превосходят традиционные теплоизоляционные материалы [2], применение его на высокотемпературном оборудовании позволит повысить его эффективность и снизить затраты на производство тепловой энергии.

В данной статье предлагается использовать аэрогелевое покрытие в составе термочехлов. Такое применение аэрогеля наиболее эффективно, поскольку упрощает его установку на оборудование и облегчает ремонтные работы персоналу компании [3].

Для прогнозирования долгосрочных эксплуатационных характеристик термочехлов на основе аэрогеля была проведена серия лабораторных исследований по ускоренному старению [4]. Это позволило определить долгосрочные свойства материала за гораздо более короткий период, чем при естественном старении.

В соответствии со стандартом ASTM G154 был выбран цикл со следующим графиком:

- 8 часов ультрафиолетового излучения при температуре черной панели 65 °С (±3 °С), и затем
- 4 часа при высокой влажности (100% относительной влажности) при 55 °С (±3 °С) температуры черной панели.

Основные характеристики термочехлов на основе аэрогеля приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики образцов термочехлов

№	Толщина, мм	Теплопроводность (Вт/м·К)	Масса, г
1	13,31	0,0210	87,7800
2	12,23	0,0198	85,5400
3	12,37	0,0197	82,7900
4	11,32	0,0203	84,1300

Образцы термозащитных покрытий под номерами 1, 3 и 4 были изготовлены из стеклопластика TPS-510-U2, способного выдерживать температуру до 600 °С. Образец № 2 был изготовлен из ткани Alpha Maritex 3200-2-SS с силиконовым покрытием, которая также обладает термостойкостью до 600 °С.

Результаты измерений влажности, массы и теплопроводности образцов были сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Характеристики образцов после испытаний

№	Теплопроводность (Вт/м·К)	Масса, г
1	0,5220	92,5460
2	0,4930	94,4970
3	0,5010	89,6350
3	0,4760	94,2490

В ходе испытаний, эквивалентных двадцати годам естественной эксплуатации, образцы во влажном состоянии показали изменение своих свойств: теплопроводность увеличилась в среднем примерно в 20 раз, а масса увеличилась в среднем на 4 грамма. При сравнении исходных значений теплопроводности и массы с данными после испытания на сухость значения существенно не изменились. Хотя изменение теплозащитных свойств аэрогелевых термочехлов в лабораторных условиях незначительно, подтверждая их высокую износостойкость, все же требуются дальнейшие испытания в промышленных условиях.

Работа выполнялась в рамках гос. задания №075-03-2024-226/1 от 15.02.2024.

### Источники

1. Jelle В. P. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions—Properties, requirements and possibilities //Energy and buildings. – 2011. – Т. 43. – №. 10. – С. 2549-2563.

2. Гафиатуллина, К. Р., Крайков, М. Д., Ваньков Ю.В. Перспектива применения многослойной теплоизоляции на основе композита из аэрогеля //Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. — Казань, 2022. — С. 974-976.

3. Гафиатуллина, К. Р., Крайков, М. Д., Ваньков Ю.В. Модель многослойной теплоизоляции на основе композита из аэрогеля // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. — Казань, 2022. — С. 949-951.

4. Гафиатуллина, К. Р., Крайков, М. Д., Федюхин А.В. Методика расчета комбинированного коэффициента ускорения старения при воздействии УФ-излучения, температуры и влажности на теплоизоляционные материалы // XXVII Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар. — Казань, 2023. — С. 145-148.

УДК 621.643.8

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ДЕФЕКТОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРА

Гаязова Земфира Ирековна<sup>1</sup>, Усанова Екатерина Андреевна<sup>2</sup>

Науч. рук. к.т.н., доцент Зиганшин Шамиль Гаязович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>zemfira.gayazova2000@yandex.ru, <sup>2</sup>usankate03@gmail.com

В статье представлены результаты численного моделирования процессов свободного колебания дефектов трубопровода в среде *Ansys/Modal*, произведен анализ полученных результатов, построены графики зависимости изменения частоты от размера дефекта при различных модах.

**Ключевые слова:** дефект, свободное колебание, трещина, модальный анализ, поиск течи.

## NUMERICAL SIMULATION OF OSCILLATIONS OF DEFECTS OF DIFFERENT SHAPE AND SIZE

Gayazova Zemfira I.<sup>1</sup>, Usanova Ekaterina A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ziganshin Sh. G.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>zemfira.gayazova2000@yandex.ru, <sup>2</sup>usankate03@gmail.com

The article presents the results of numerical modeling of the processes of free vibration of pipeline defects in the *Ansys/Modal* environment, analyzes the results obtained, and plots the dependence of the change in frequency on the size of the defect for various modes.

**Keywords:** defect, free vibration, crack, modal analysis, leak detection.

Оценка технического состояния трубопроводов является существенной задачей, решение которой может значительно повысить надежность трубопроводного транспорта [1].

Важной составляющей оценки состояния трубопровода является своевременное обнаружение и локализация течей [2,3]. В данной работе были смоделированы и проанализированы наиболее распространенные виды дефектов трубопровода, такие как отверстие и трещина различных размеров. На рисунке 1 продемонстрирована геометрия отверстия диаметром 4 мм и трещины 0,5 мм на 20 мм.

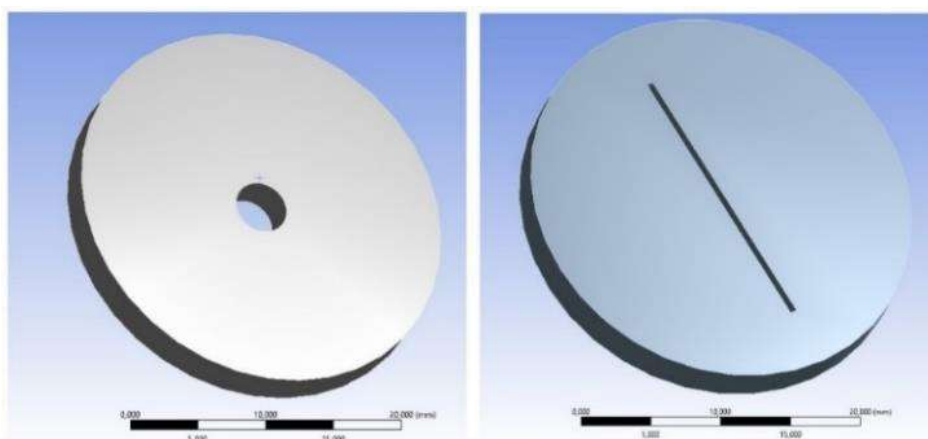


Рис. 1. Модель отверстия и трещины

В ходе работы был произведен расчет частот колебаний данных дефектов для различных размеров, результаты представлены в таблице 1 и 2 для круглого дефекта и дефекта в виде трещины соответственно.

Таблица 1

Результаты расчета частот собственных колебаний для круглого дефекта

Мода	1	2	3	4	5	6
1 мм	33168	63542	63542	96261	96261	108000
2 мм	33126	63333	63333	95870	95870	107000
3 мм	33146	62857	62857	95396	95397	108000
4 мм	33302	62042	62043	94872	94872	109000
5 мм	33659	60908	60908	94268	94268	112000
6 мм	34264	59581	59581	93507	93507	116000
7 мм	35161	58266	58266	92510	92510	121000
8 мм	36389	57174	57174	91241	91241	127000

Таблица 2

Результаты расчета частот собственных колебаний для дефекта в виде трещины

Мода	1	2	3	4	5	6
2 мм	33040	63403	63553	96120	96126	107000
4 мм	32610	62656	63504	95428	95689	105000
6 мм	32033	60898	63399	94121	95141	103000
8 мм	31362	57574	63153	92168	94203	102000
20 мм	28833	32350	60196	69168	84209	86370

На основании полученных данных были построены графики зависимости частоты колебания от размера дефекта, представленные на рисунке 2 и 3.

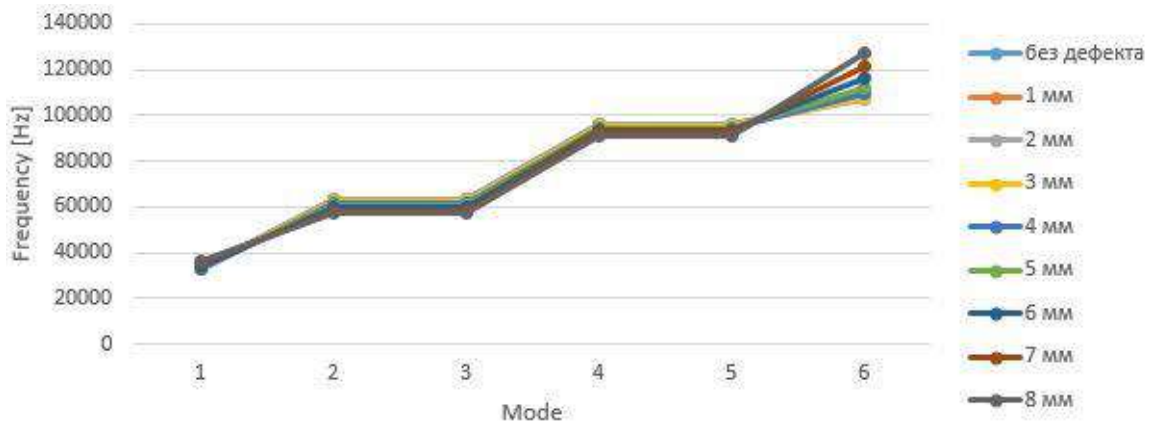


Рис. 2. График зависимости изменения частоты от размера отверстия

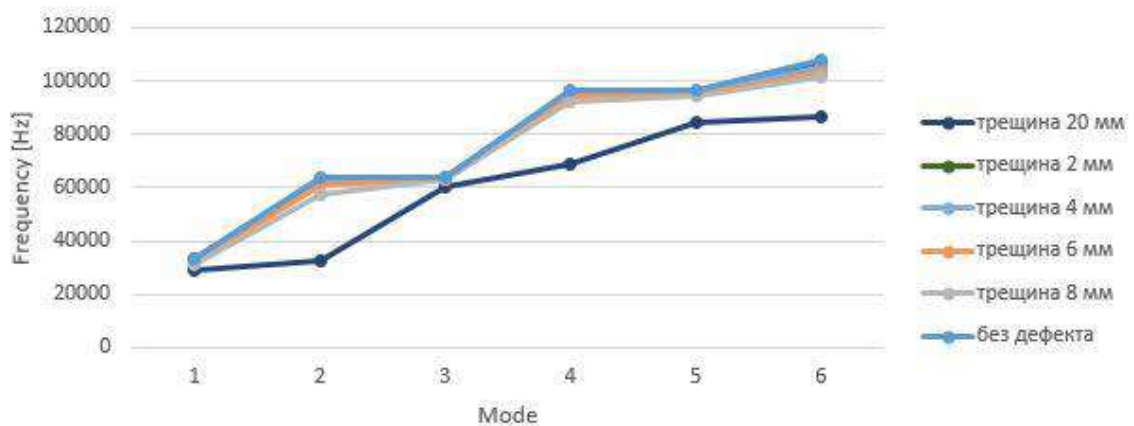


Рис. 3. График зависимости изменения частоты от размера трещины

Представленные модели необходимы для сравнения полученных расчетных показателей с натурными экспериментами, что в дальнейшем позволит более точно определять и прогнозировать утечки трубопроводов.

### **Источники**

1. Политова Т.О., Зиганшин Ш.Г., Саяхова Р.Р., Малахов А.О. Корреляционный анализ факторов влияющих на отказы трубопроводов тепловых сетей // ИВД. 2015. №3.

2. Fan H., Tariq S., Zayed T. Acoustic leak detection approaches for water pipelines //Automation in Construction. – 2022. – Т. 138. – С. 104226.

3. Sitaropoulos K., Salamone S., Sela L. Frequency-based leak signature investigation using acoustic sensors in urban water distribution networks //Advanced Engineering Informatics. – 2023. – Т. 55. – С. 101905.

УДК 620.92

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

Глухова Полина Евгеньевна<sup>1</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Кондратьев Александр Евгеньевич<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>she\_is\_pauline@mail.ru, <sup>2</sup>aekondr@mail.ru

В статье рассматривается вопрос о перспективах использования геотермальной энергии в России. Она может использоваться для производства электроэнергии, отопления домов и других целей. Для развития геотермальной энергетики необходимо решить ряд проблем, включая создание инфраструктуры, привлечение инвестиций и развитие технологий.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика, Россия, перспективы, развитие, инфраструктура, тепло Земли, электроэнергия, отопление.

## **PROSPECTS FOR USE OF GEOTHERMAL ENERGY IN RUSSIA**

Gluhova Polina E.<sup>1</sup>

Scientific advisor Kondratiev A. E.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>she\_is\_pauline@mail.ru, <sup>2</sup>aekondr@mail.ru



This article discusses the prospects for using geothermal energy in Russia. To develop geothermal energy, it is necessary to solve a number of problems, including the creation of infrastructure, attraction of investment, and development of technologies.

**Keywords:** geothermal energy, Russia, prospects, development, infrastructure, Earth's heat, electricity, heating.

Геотермальная энергетика — это использование тепла Земли для производства электроэнергии. В России есть несколько регионов, где можно использовать геотермальную энергию, например, на Камчатке, Курилах, Сахалине и Кавказе. Здесь располагаются не только перспективные геотермальные источники, но и присутствует высокий коэффициент инсоляции [1].

Важным из основных плюсов геотермальной энергии можно назвать ее экологическую чистоту. При применении этой системы отсутствуют выбросы вредных веществ в атмосферу, что значительно снижает негативное воздействие на окружающую среду и способствует снижению выбросов парниковых газов. Кроме того, использование геотермальной энергии позволяет снизить зависимость от углеводородных горючих материалов, что делает эту систему более устойчивой в долгосрочной перспективе.

Геотермальное тепло может использоваться для различных целей, включая производство электроэнергии, отопление домов и промышленных предприятий, а также для создания геотермальных тепловых насосов. Особо интересно применение теплового насоса в комбинации с другими альтернативными источниками [2].

Геотермальное отопление также становится все более популярным в некоторых странах, особенно в тех, где нет доступа к традиционным источникам энергии, таким как газ или нефть. В США, например, около 10% домов используют геотермальное отопление, а в некоторых странах Европы эта цифра достигает 30-40% [3].

Кроме того, использование геотермальной энергии может помочь решить проблему отопления домов и предприятий в регионах с холодным климатом. Здесь перспективными являются также иные способы отопления, такие как солнечное или инфракрасное [4]. Однако, для развития геотермальной энергетики в России необходимо решить ряд проблем, таких как высокая стоимость оборудования, необходимость создания инфраструктуры для транспортировки и хранения геотермальной энергии, а также необходимость привлечения инвестиций. Особое место занимают вопросы утепления стен, подвалов и крыш жилых и административных зданий [5].

Для развития геотермальной энергетики в России можно предложить следующие решения:

1. Создание инфраструктуры для транспортировки и хранения геотермальной энергии. Например: строительство новых линий электропередачи, разработку новых технологий транспортировки тепла.

2. Развитие технологий использования геотермальных ресурсов. Это может включать разработку новых методов бурения скважин, создание новых видов геотермального оборудования и т.д.

3. Развитие международного взаимодействия в области геотермальной энергетики. Важнейшим вопросом здесь является разработка новых, энергоэффективных автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов [6].

Использование геотермальной энергии в России ограничено из-за ряда факторов, включая географические особенности страны, отсутствие инфраструктуры и высокие затраты на разработку месторождений. Кроме того, в России есть другие источники энергии, такие как нефть и газ, которые являются более доступными и дешевыми.

В России уже есть несколько геотермальных электростанций, но их мощность невелика по сравнению с другими источниками энергии. Однако, геотермальная энергия может стать важным источником экологически чистой электроэнергии в будущем.

### **Источники**

1. Макуева, Д. А. Системы теплоснабжения жилого дома от солнечных коллекторов / Д. А. Макуева, Я. О. Шайхутдинов, 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. 270-272. – EDN VOVGRG.

2. Шарафисламова, Э. А. Совместная работа теплового насоса с ветрогенератором малой мощности / Э. А. Шарафисламова, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2016. – № 2. – С. 256-258. – EDN YGGYGN.

3. Gaponenko, S. O. Device for Calibration of Piezoelectric Sensors / S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev // International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017, Saint-Petersburg, 16–19 мая 2017 года. – Saint-Petersburg, 2017. – P. 146-150. – DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.451. – EDN XNXDGR.

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.

5. Халилова, Э. А. К вопросу утепления крыши жилого дома / Э. А. Халилова, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2016. – № 2. – С. 249-251. – EDN YGGYFJ.

6. 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.

УДК 621-313.3

## **РЕГУЛЯЦИЯ РАСХОДА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОВЫХ ПУНКТАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ**

Миннигалимов Ранис Рамисович<sup>1</sup>, Гузаеров Марсель Ленарович<sup>2</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Закиров Ринат Нургалиевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>ranis.minnigalimov2016@mail.ru, <sup>2</sup> an.10.08.2015@gmail.com

В статье рассмотрены разные режимы работы насосов в тепловых пунктах и решения для снижения энергии перекачки.

**Ключевые слова:** теплоноситель, тепловой пункт, расход, насосная система.

## **REGULATION OF COOLANT FLOW IN HEATING STATIONS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF THE SYSTEM**

Minnigalimov Ranis R.<sup>1</sup>, Guzaerov Marcel L.<sup>2</sup>

Scientific advisor Zakirov R.N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>ranis.minnigalimov2016@mail.ru, <sup>2</sup>an.10.08.2015@gmail.com

The article discusses the different modes of operation of pumps in heating stations and solutions for reducing the pumping energy.

**Keywords:** coolant flow, heating station, flow rate, pumping system.

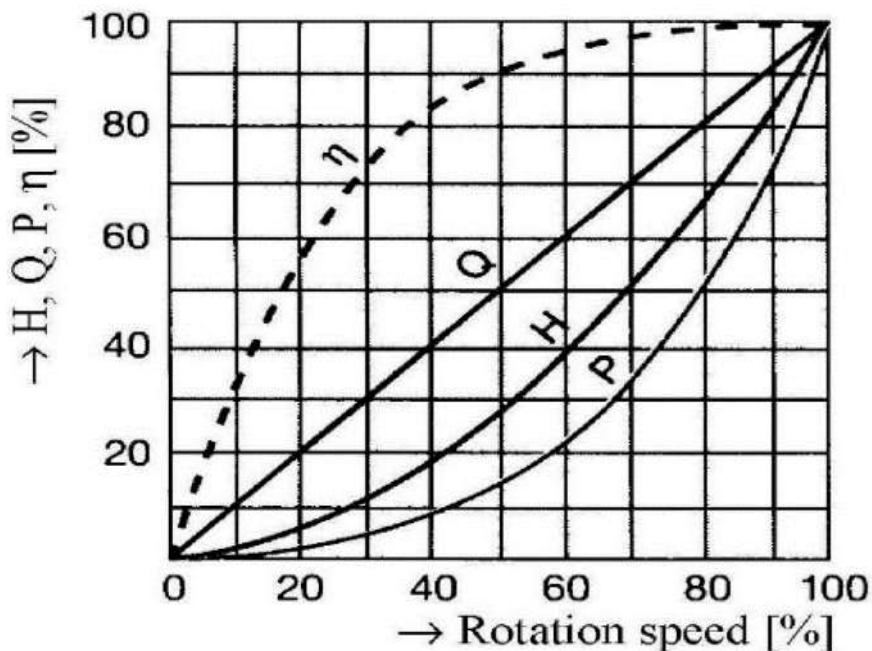
В последние годы растет интерес к эффективному и экологичному управлению, особенно в системах, характеризующихся большим потреблением невозобновляемой энергии. Системы транспортировки жидкостей, такие как насосы и вентиляторы, отвечают за значительную часть общего потребления электроэнергии [1]. Различают несколько методов регулировки расхода, основанных на различных режимах работы насосов: работа насоса на фиксированных скоростях, на переменных скоростях.

Насосы, используемые в тепловых пунктах, часто представляют собой центробежные насосы, которые характеризуются кривой напорного потока ( $H-Q$ ), которая остается достаточно плоской для широкого диапазона потоков. Если используется насос на фиксированных скоростях, рабочая точка вынуждена перемещаться вдоль кривой насоса, соответствующей фиксированной номинальной скорости. Существует два способа изменения расхода воды в трубопроводной сети с помощью насоса на фиксированных скоростях: обход части сброса воды (насос работает на том же напоре, расход воды увеличивается, а также увеличивается потребляемая мощность) и введение дополнительной потери давления с помощью регулирующего клапана. Несмотря на то, что регулировка расхода воды с помощью регулирующего клапана может привести к повышению эффективности водораспределительной системы при снижении номинального напора насоса ниже оптимального значения, этот метод имеет следующие недостатки: повышенный износ дроссельных элементов регулирующего клапана, шум, вибрации и гидравлические удары с негативными последствиями в системе и низкая надежность работы насосов.

Лучшим методом получения переменного расхода воды является использование насосов с регулируемой скоростью. Как говорит Loan Sarbu [2], снижение скорости насоса на 20% снизит потребляемую мощность на 50% при постоянной эффективности насоса. Следовательно, существует возможность снижения энергопотребления насоса за счет использования частотно-регулируемых приводов (ЧРП).

В системах с высокими потерями на трение наиболее энергоэффективным вариантом управления является электронный частотно-регулируемый привод. Наиболее распространенной формой частотно-регулируемого привода является преобразователь частоты с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) с источником напряжения. Основной задачей ЧРП является изменение основного источника питания для регулирования частоты вращения электродвигателя, обеспечивая при

этом требуемый крутящий момент с более высоким КПД. В результате, при изменении частоты вращения насоса кривая насоса корректируется для различных условий эксплуатации (см. рисунок).



Изменение кривых центробежного насоса

Основные преимущества насосов с регулируемой частотой вращения проявляются, когда условия работы в системе характеризуются высокой вариативностью.

Таким образом, регулировка расхода с помощью насосов с регулируемой частотой вращения является выгодным методом перекачки воды в тепловых пунктах, обеспечивая корреляцию между потребностью в тепле и водоотведением и, следовательно, обеспечивая значительную экономию энергии, которая может достигать до 50%.

#### Источники

1. Tamminen J., Viholainen J., Ahonen T., Ahola J., Hammo S., Vakkilainen E. Comparison of model-based flow rate estimation methods in frequency-converter- driven pumps and fans. // Energy Effic. 2014. Т. 7. С. 493-505.
2. Sarbu Loan. Energy savings potential for pumping water in district heating stations // Energy Sustainability. 2015. Т. 7(5). С. 5705-5719.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТЕН ЗДАНИЙ

Закирова Язиля Рамилевна

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Закиров Ринат Нургалиевич

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

zakirovayazilya5@gmail.com

Усовершенствованы методы эффективного сбережения энергоресурсов путем модернизации утепления существующих зданий, включая реконструкцию жилищного фонда морально и физически устаревшей застройки и подбора оптимальной толщины изоляции.

**Ключевые слова:** теплоизоляция, эффективность, утепление.

## INCREASING THE EFFICIENCY OF BUILDING WALL ENVILOGING STRUCTURES

Zakirova Yazilya R.

Scientific advisor Zakirov R.N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

zakirovayazilya5@gmail.com

Methods for effectively saving energy resources have been improved by modernizing the insulation of existing buildings, including the reconstruction of the housing stock of morally and physically obsolete buildings and selecting the optimal insulation thickness.

**Keywords:** thermal insulation, efficiency, insulation.

Повышение эффективности утепления ограждающих конструкций стен зданий не только помогает сэкономить энергоресурсы, но и способствует созданию более комфортной и здоровой обстановки внутри здания. При реконструкции жилищного фонда морально и физически устаревшей застройки актуальной и важной задачей является повышение эффективности утепления ограждающих конструкций стен. Существует несколько способов повышения эффективности утепления ограждающих конструкций стен зданий.

1. Использование современных теплоизоляционных материалов. Сегодня на рынке представлен широкий выбор изоляционных материалов

с различными характеристиками. Минеральная вата, пенополистирол, пенополиуретан - все они обладают хорошей теплоизоляционной способностью и могут быть успешно применены при утеплении стен.

2. Применение утеплителей с улучшенными техническими характеристиками. Например, утеплители с низкой теплопроводностью способны обеспечить более эффективную защиту от теплопотерь.

3. Улучшение герметичности конструкций. Через щели, трещины и неплотности в стенах теряется значительное количество тепла. Поэтому важно обеспечить герметичность ограждающих конструкций для максимального сохранения тепла в помещении.

4. Применение тепловентилируемых фасадов. Такие конструкции позволяют улучшить теплоизоляционные свойства стен за счет воздушного зазора между утеплителем и облицовочной панелью [3].

Внедрение современных технологий утепления не только является шагом к снижению вредного воздействия на окружающую среду, но и экономически оправданным решением в долгосрочной перспективе.

На этапе капитального ремонта жилого фонда прежде всего необходимо определиться с конструктивными и теплофизическими параметрами ограждающей конструкции.

В работе [1, 2] рассматривается усовершенствование методов эффективного энергосбережения путем модернизации утепления существующих зданий. Эффективное утепление стен зданий снижает энергопотребление и обеспечивает экономию ресурсов и способствует повышению энергоэффективности здания. Авторы определяют оптимальную толщину изоляции для определенного конкретного здания путем проведения теплотехнического расчета. Результаты которого учитывают климатические условия региона, коэффициент теплопроводности материалов изоляции, теплопотери через ограждающие конструкции здания, ориентация здания и другие параметры.

Для современных условий теплоснабжения также актуально рассмотрение влияния на определение оптимальной толщины утеплителя качественного, качественно-количественного, либо количественного способов регулирования отпуска тепловой энергии.

Важно для определения оптимальной толщины утеплителя использовать метод экономической оптимизации затрат и минимизировать суммарные дисконтированные затраты на утепление здания за определенный период [1, 2].

В качестве примера рассмотрено жилое здание, расположенное по адресу Республика Татарстан, город Казань, ул. Вербная 1. Это

двухподъездное, 24-этажное здание 2014 года постройки, отапливаемая площадь 13666 м<sup>2</sup>. В качестве источника тепла является котельная «Азино».

На основе влияния основных факторов, в т.ч. цены за тепловую энергию, на величину оптимальной толщины тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций здания  $\delta_{\text{ут}}$  с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии, построены зависимости различных факторов от толщины изоляции для нашего примера (рисунки 1-2). Путем построения таких графиков с помощью математической модели можно повысить энергоэффективность здания и при правильно подобранной оптимальной толщине изоляции снизить тепловые потери в здании, что может снизить расход электроэнергии, в итоге и топлива.

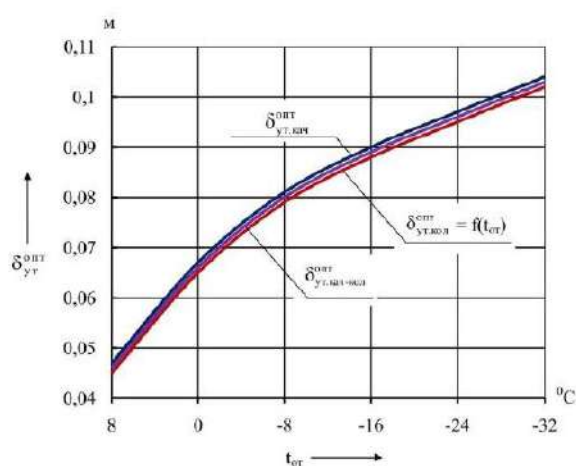


Рис.1. Зависимость толщины изоляции от температуры наружного воздуха в отопительный период

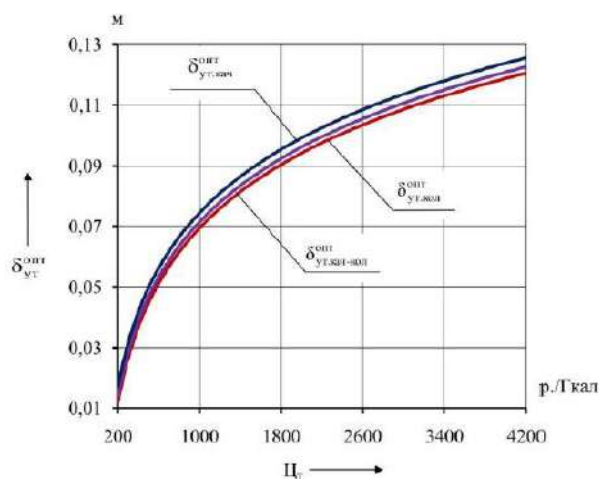


Рис.2. Зависимость толщины изоляции от среднегодовой цены за тепловую энергию

## Источники

1. Оптимизация затрат при проектировании и эксплуатации тепловых схем и систем теплоснабжения потребителей [Текст] / В. Р. Ведрученко, П. В. Петров и др. // Промышленная энергетика / ЗАО «НТФ «Энергопрогресс». – М. – 2013. – № 2(143). – С. 23 – 27.

2. Петров, П.В., Резанов, Е.М., Ведрученко, В.Р., Стариков, А.П. Основные направления совершенствования тепловой работы зданий и сооружений при капитальном ремонте, КС энергетика и ЖКХ. 2015. № 2(34). 30–33.

3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий [Электронный ресурс]. – М.: Стандартинформ, 2012. – 96 с.



## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ТЕПЛОПOTЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ**

Иванов Артур Олегович<sup>1</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Звонарева Юлия Николаевна<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>artkazan94@mail.ru, <sup>2</sup>skulinaun@mail.ru

Статья рассматривает мероприятия по снижению теплопотерь через ограждающие конструкции промышленных зданий с целью повышения их энергоэффективности. В статье описываются основные методы улучшения изоляции, применения энергоэффективных окон и дверей, использования теплоизоляционных покрытий, а также тепловых насосов и систем вентиляции с рекуперацией тепла.

**Ключевые слова:** теплопотери, ограждающие конструкции, энергоэффективность, изоляция, окна и двери, теплоизоляционные покрытия, тепловые насосы, вентиляция, рекуперация тепла, промышленные здания.

## **MEASURES TO REDUCE HEAT LOSS THROUGH THE ENCLOSING STRUCTURES OF AN INDUSTRIAL BUILDING**

Ivanov Artur O.

Scientific advisor Zvonareva Yu. N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bin@mail.ru

The article considers measures to reduce heat loss through the enclosing structures of industrial buildings in order to increase their energy efficiency. The article describes the main methods of improving insulation, the use of energy-efficient windows and doors, the use of thermal insulation coatings, as well as heat pumps and ventilation systems with heat recovery.

**Keywords:** heat loss, enclosing structures, energy efficiency, insulation, windows and doors, thermal insulation coatings, heat pumps, ventilation, heat recovery, industrial buildings.

В условиях постоянного роста цен на энергоресурсы и стремительных изменений в климате, энергоэффективность становится неотъемлемой составляющей устойчивого развития. Промышленные здания, включая заводы, склады и производственные комплексы, часто

являются крупными потребителями энергии и источниками значительных теплопотерь через ограждающие конструкции. Однако существуют инновационные меры, которые могут существенно сократить эти потери и повысить энергоэффективность [1].

1. Аудит и идентификация проблем. Первым шагом к снижению теплопотерь является проведение аудита энергопотребления здания. Этот процесс включает в себя тщательный анализ тепловых потоков через ограждающие конструкции, выявление участков наибольших потерь и определение наиболее эффективных способов улучшения изоляции [2].

2. Улучшение Изоляции. Одним из наиболее эффективных способов снижения теплопотерь является улучшение изоляции ограждающих конструкций. Применение современных изоляционных материалов с высоким коэффициентом теплопроводности позволяет существенно снизить теплопередачу через стены, крышу и полы здания. Также важно обратить внимание на уплотнение стыков и соединений, чтобы исключить проникновение сквозняков и минимизировать теплопотери.

3. Применение энергоэффективных окон и дверей. Окна и двери часто являются слабым звеном в системе утепления здания. Замена устаревших окон и дверей на современные энергоэффективные конструкции с двойным или тройным остеклением, а также теплым перекрытием, поможет существенно снизить теплопотери и улучшить теплоизоляцию.

4. Применение теплоизоляционных покрытий. Современные теплоизоляционные покрытия на поверхности ограждающих конструкций представляют собой инновационное решение, направленное на снижение теплопотерь в промышленных зданиях. Эти покрытия обладают высокой теплоизоляционной способностью и создают эффективный теплозащитный барьер, который препятствует переходу тепла через стены, крышу и полы здания. Применение таких материалов не только уменьшает теплопередачу, но и способствует сохранению тепла внутри здания, что в свою очередь снижает энергопотребление на отопление и обогрев. [3].

5. Использование тепловых насосов и вентиляционных систем с рекуперацией тепла. Тепловые насосы и системы вентиляции с рекуперацией тепла представляют собой передовые технологии, направленные на сокращение энергопотребления и снижение теплопотерь в промышленных зданиях. Тепловые насосы используют тепловую энергию из окружающей среды для подогрева воздуха в здании, что позволяет снизить зависимость от традиционных энергоресурсов. Системы вентиляции с рекуперацией тепла позволяют использовать тепловую энергию, которая обычно теряется при вытяжке отработанного воздуха, для предварительного подогрева поступающего свежего воздуха. Таким образом, эти инновационные технологии не только снижают

энергопотребление, но и повышают комфортность внутренней среды здания, обеспечивая более эффективное использование тепловых ресурсов.

Мероприятия по снижению теплопотерь через ограждающие конструкции промышленных зданий играют ключевую роль в улучшении их энергоэффективности и снижении операционных расходов. Использование современных технологий и инновационных подходов позволяет достичь значительных результатов в области сохранения энергии и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Поэтому внедрение этих мер становится необходимым шагом для промышленных предприятий, стремящихся к устойчивому развитию и экологической ответственности.

### **Источники**

1. Методика проведения аудита энергопотребления и оценки энергетической эффективности промышленных зданий: Руководство. - Москва: ФГБУ "ЦНИИ Энергетика" Министерства энергетики Российской Федерации, 2018.

2. Тепловая изоляция зданий и трубопроводов: Справочник. Под ред. В. П. Комарова. - Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2016.

3. Инженерные системы зданий и сооружений: Учебник для вузов. Под ред. Л. А. Корнелиссена и М. И. Седова. - Москва: Издательский центр "Академия", 2019.

УДК 628.132

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ДЕБАЛАНСОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Исаева Евгения Анатольевна

Науч. рук.: к-т техн. наук, доцент Плотникова Людмила Валерьяновна

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

isaevae822@gmail.com

В данной статье рассматривается вопрос повышения энергоэффективности на промышленных предприятиях с помощью теплового аккумулирования. Авторы подчеркивают важность создания резерва энергии и сглаживания дебалансов потребления теплоты при использовании тепловых аккумуляторов.

**Ключевые слова:** накопитель энергии, тепловой аккумулятор, повышение энергоэффективности, тепловой баланс.

# USE OF THERMAL ENERGY STORAGE TO ELIMINATE IMBALANCES IN THE ENERGY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

Isaeva Eugenia A.

Scientific advisor Plotnikova L.V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

isaevae822@gmail.com

This article discusses the issue of increasing energy efficiency in industrial enterprises using thermal storage. The authors emphasize the importance of creating an energy reserve and smoothing out imbalances in heat consumption when using heat accumulators.

**Keywords:** steam storage, thermal accumulator, energy efficiency improvement, energy balancing.

Энергетика является важной частью современной экономики. Поэтому в настоящее время значительное внимание уделяется повышению энергоэффективности и устранению дисбалансов на промышленных предприятиях между поступлением и потреблением энергоресурсов [1].

Для устранения дисбалансов на промышленных предприятиях применяют метод резервирования энергоносителей в аккумулирующих установках [2]. Тепловое аккумулирование – это метод накопления тепловой энергии в аккумулирующих установках при помощи физических и химических процессов. Основной целью теплового аккумулирования является балансировка выработки энергии при неравномерности суточных графиков, а также создание резерва энергии при возникновении кризисных ситуаций.

Тепловой аккумулятор представляет собой изолированный резервуар, в котором хранится вода при том же давлении и температуре, что в котле. Так же присутствуют устройства для зарядки и разрядки теплового аккумулятора и вспомогательное оборудование. Среди различных типов аккумуляторов аккумуляторы Рутса являются наиболее популярными и удобными в использовании, а также имеют простую конструкцию [1].

Принцип действия теплового аккумулятора заключается в том, что происходит процесс накопления-выделения внутренней энергии. В часы падения потребления аккумулятор будет забирать избыток теплоты, поступающего от котла, и хранить ее в виде внутренней энергии перегретой жидкости, а при повышении потребления будет отдавать с потоком пара. Происходит сглаживание дисбалансов потребления тепла [3].

Предлагается использовать паровой аккумулятор в паропотребляющих промышленных теплотехнологических схемах со значительными потерями конденсата. В таких схемах накопитель энергии позволит в системах сбора, возврата конденсата и производства вторичного пара обеспечить требуемое количество вторичного пара, решая проблему дебаланса [1].

Так, часто на промышленных предприятиях установки источники-конденсата имеют неравномерный режим работы (работают по суточному или годовому графику). Например, в зимний период возможен переизбыток производства вторичного пара в собственных утилизационных установках и его стравливание в атмосферу. То есть производство вторичного пара носит непостоянный характер. Данную проблему и решит пароаккумулятор сглаживанием расходов поступающего конденсата. Конденсат в пароаккумуляторе будет играть роль воды в емкости аппарата.

При внедрении пароаккумулятора в систему производства вторичного пара достигается следующий энергосберегающий эффект – это снижение потерь теплоты вторичного пара в зимний период с излишками производства либо снижение затрат покупного пара в летний период при недостаточном производстве пара вторичного вскипания. Максимальный эффект равен тепловой мощности конденсата на выходе из собственных утилизационных систем.

При внедрении тепловых аккумуляторов на промышленном предприятии также необходимо учитывать капитальные затраты и дополнительное потребление топлива. Эти факторы следует учесть при оценке экономического эффекта от внедрения энергосберегающего и аккумулирующего оборудования.

Таким образом, создание систем, способных справляться с дебалансом между поступлением и расходом энергоносителей, позволит обеспечить устойчивое функционирование систем теплоэнергетики, снижая затраты на энергоресурсы и снижая потери, в частности, с конденсатом.

*Работа поддержана государственным заданием (№ 075-03-2024-226).*

### **Источники**

1. Ваньков Ю.В., Плотникова Л.В., Зиганшин Ш.Г., Загретдинов А.Р. Рекуперация и аккумулирование вторичных энергетических ресурсов на предприятиях нефтеперерабатывающего комплекса. – СПб.: Издательство «Наукоемкие технологии», 2024. 142 с.

2. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. – М.: Мир, 1987. 272с.

3. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. – Киев: Техника, 1991. 111с.

УДК 665.754

## **УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕЧНОГО БЫТОВОГО ТОПЛИВА ДОБАВЛЕНИЕМ ДИЗЕЛЬНЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕГОНКИ**

Ковальчук Анастасия Анатольевна

Науч. рук. к-т. техн. наук, Макеева Екатерина Николаевна

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель,

Республика Беларусь

kovalchuknastiya23@gmail.com

В статье рассматриваются особенности печного бытового топлива и его смеси с дистиллятом дизельного топлива в различных концентрациях. Экспериментально определяется температура вспышки, температура воспламенения и плотность. Определяется эффективность добавления дистиллята дизельного топлива и определяются его свойства.

**Ключевые слова:** печное бытовое топливо, дизельное топливо, температура вспышки, вторичная перегонка.

## **IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF DOMESTIC STOVE FUEL BY ADDING DIESEL DISTILLATES OF SECONDARY DISTILLATION**

Kovalchuk Anastasia A.

Scientific advisor Makeeva E.N.

Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi, Gomel, Republic of Belarus

kovalchuknastiya23@gmail.com

The article discusses the features of domestic stove fuel and its mixtures with distillate of diesel fuel in various concentrations. The flash point and density are determined experimentally. The efficiency of adding diesel fuel distillate is determined and its properties are determined.

**Keywords:** domestic heating oil, diesel fuel, flash point, secondary distillation.

Печное топливо - это продукт нефтепереработки, изготовленный из дистиллятных фракций, полученных в результате прямой перегонки и вторичной переработки сырой нефти. Такой способ производства обеспечивает относительно низкую себестоимость. Топливо предназначено для сжигания в отопительных приборах малой мощности и теплогенераторах средней мощности, установленных в домах.[3]

По основным свойствам этот вид топлива близок к летнему дизельному топливу. Температура конца кипения и застывания, вязкость, плотность печного бытового топлива несколько выше, чем у летнего дизельного топлива.[1]

Таблица 1

Характеристики печного бытового топлива

Показатели	Значения
Фракционный состав:	
10% перегоняется при температуре , °С, не ниже	160
90% перегоняется при температуре , °С, не выше	360
Кинематическая вязкость при 20°С, мм <sup>2</sup> /с	8,0
Температура застывания, °С, не выше	-15
Температура вспышки °С	116,8
Цвет	Красновато-коричневый
Плотность, кг/ м <sup>3</sup>	852
Зольность,% не более	0,02
Коксуемость 10% - ного остатка, %, не более	0,35
Содержание механических примесей	отсутствует

Измерение температуры вспышки используется для определения максимально допустимой температуры нагрева топлива в пожаробезопасных условиях в открытой емкости, не защищенной от попадания воздуха. Температура вспышки - это самая низкая температура горючей жидкости, при которой пары или газы, образующиеся на ее поверхности, воспламеняются от источника зажигания без воспламенения самой жидкости.

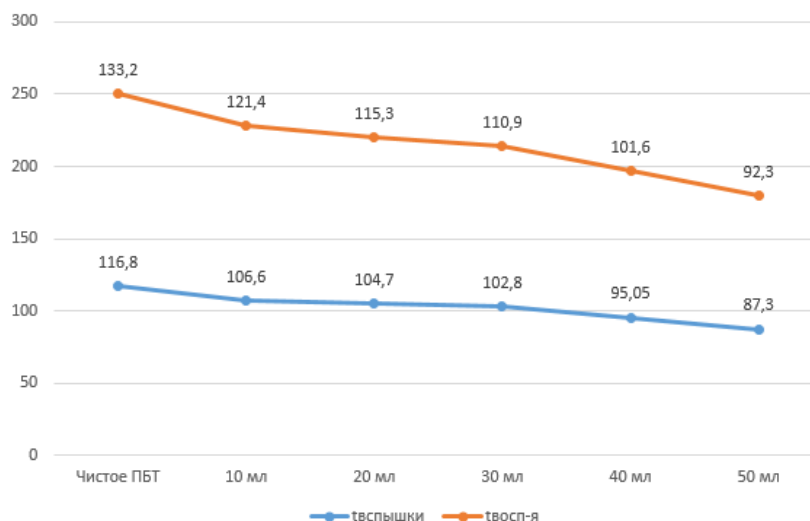


Рис. 1. Температура вспышки и воспламенения

В результате проведения опытов наблюдалось снижение температуры вспышки и воспламенения с увеличением концентрации дизельных дистиллятов вторичной перегонки.

Температура вспышки напрямую связана со свойствами испарения топлива. При повышении температуры жидкость расширяется молекулярно и испаряется быстрее. Топливо с более низкой температурой вспышки имеет более легкие и мелкие молекулы и легче испаряется. Для начала горения требуется меньше энергии. [2] Стоит отметить, что при этом повышается пожароопасность топлива, поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности, необходимые для безопасного обращения с ним.

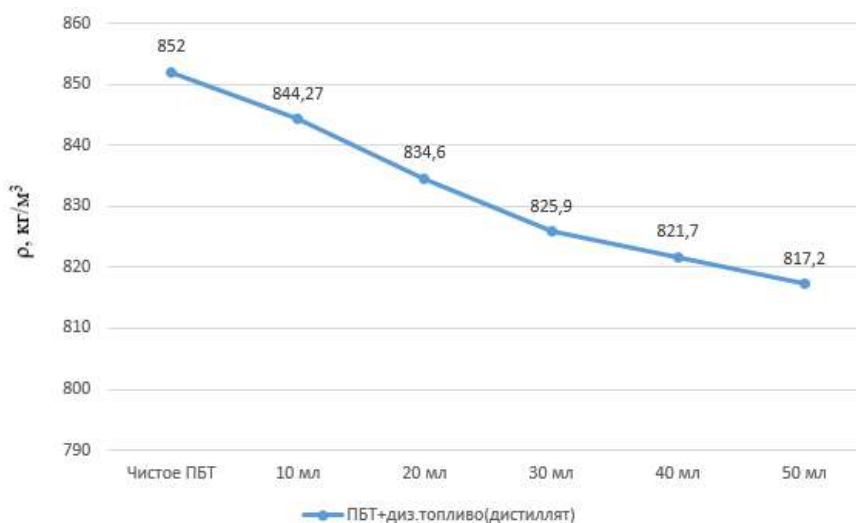


Рис. 2. Плотность



Плотность - не менее важный параметр, влияющий на качество и эффективность топлива. Плотность дизельного топлива определяется содержанием тяжелых фракций. Снижение плотности улучшает испаряемость и замедляет отложение углерода.

### Источники

1. В.Г. Спиркин. Химмотология топлив. Учебное пособие. Под редакцией И.Г. Фукса. – М. : ГУП Издательство «Нефть газ» РПУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. – 176 с.

2. Печное топливо для дизельных котлов [Электронный ресурс]. <https://dt6.ru/projects/kharakteristiki-topliva/temperatura-vspyshki-dizelnogo-topliva-osnovnoe-rukovodstvo-po-pozharnoy-bezopasnosti/>

3. Печное бытовое топливо [Электронный ресурс]. <https://www.ngpedia.ru/id518408p1.html>.- (Дата обращения:29.02.2024).

УДК 644.1

## ОСОБЕННОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ В ОФИСНЫХ ЗДАНИЯХ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

Коньжов Кирилл Вадимович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Кондратьев Александр Евгеньевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[konizhov.kirill@mail.ru](mailto:konizhov.kirill@mail.ru)

Данная статья обсуждает важность вентиляции в офисных зданиях и ее влияние на качество воздуха внутри помещений. Описываются различные стратегии вентиляции, включая смешивающую и вытесняющую вентиляцию, а также рассматриваются проблемы и решения, связанные с контролем загрязняющих веществ. Также проводится анализ качества наружного воздуха и его влияния на вентиляцию, включая проблемы урбанизации, промышленного загрязнения и местного загрязнения. Обсуждаются методы контроля загрязнения воздуха в помещениях и применение систем фильтрации.

**Ключевые слова:** вентиляция, качество воздуха, смешивающая вентиляция, вытесняющая вентиляция, загрязняющие вещества.

# THE IMPORTANCE OF VENTILATION IN OFFICE BUILDINGS AND ITS IMPACT ON INDOOR AIR QUALITY

Konyzhov Kirill V.

Scientific advisor Kondratiev A.E.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Konizhov.kirill@mail.ru

This article discusses the importance of ventilation in office buildings and its impact on indoor air quality. Various ventilation strategies, including mixing and displacement ventilation, are described, and problems and solutions related to the control of pollutants are considered. The analysis of outdoor air quality and its impact on ventilation, including problems of urbanization, industrial pollution and local pollution, is also carried out. Methods of indoor air pollution control and the use of filtration systems are discussed.

**Keywords:** ventilation, air quality, mixing ventilation, displacement ventilation, pollutants.

Вентиляция — это процесс, посредством которого в помещение намеренно подается "чистый" воздух и удаляется 'несвежий'. Он может либо смешиваться с существующим воздухом помещения (смешивающая вентиляция) для равномерного разбавления загрязняющих веществ, либо вводиться без смешивания (вытесняющая вентиляция), чтобы зона дыхания пассажиров была отделена от источников загрязнения. Современные стратегии часто ориентированы на подход вытеснения, но это требует тщательного проектирования и, очень часто, отдельных мер по обеспечению теплового режима (как обогрева, так и охлаждения) помещения [1]. Для эффективной и энергосберегающей вентиляции основная роль вентиляции должна заключаться в разбавлении и удалении загрязняющих веществ, которые неизбежно выбрасываются в помещение. По сути, это метаболическое и производственное загрязнение, включая газообразные загрязняющие вещества и твердые частицы, требует вентиляции для поддержания качества воздуха в помещении. Эта область вызывает особую озабоченность в сообществе исследователей воздуха в помещениях [2].

Несмотря на то, что вентиляция выполняет такую важную часть проектирования и монтажа систем обслуживания зданий, ее необходимо рассматривать в контексте общего уравнения качества воздуха. Таким образом, можно разработать более эффективные подходы к вентиляции и выявить новые важные потребности в исследованиях.

Рост урбанизации и выбросы загрязняющих веществ создают проблемы для обеспечения хорошего качества наружного воздуха, включая региональное промышленное загрязнение, выбросы от транспорта и другие источники. Важность обеспечения высокого качества наружного воздуха трудно переоценить [3].

При высокой и неизбежной скорости образования частиц в помещении, объем необходимой вентиляции может стать излишним. В данном случае фильтры для рециркуляции воздуха могут контролировать твердые частицы, предполагая 100%-ную эффективность фильтра. Это позволяет снизить концентрацию загрязнений вдвое, а при увеличении скорости фильтрации в три раза по сравнению с вентиляцией свежим воздухом, уровень загрязнений может уменьшиться до 25% от стандартного уровня, достижимого только через вентиляцию. Следовательно, для достижения желаемого снижения загрязнения производительность системы фильтрации и эффективность фильтрации должны быть высокими [4]. В связи с этим настольный воздухоочиститель следует позиционировать как совершенно неэффективный. Чтобы быть эффективной, система рециркуляционной фильтрации должна соответствовать следующим требованиям:

- Она не должна использоваться в качестве замены вентиляционного воздуха, необходимого для удаления загрязняющих веществ, выделяемых жильцами, или для сжигания бытовых приборов.;
- Он должен быть сконструирован таким образом, чтобы удалять конкретный загрязняющий элемент, а также прост в обслуживании и иметь индикатор замены фильтра
- Его расход должен по крайней мере в два-три раза превышать скорость подачи свежего воздуха;
- Он должен быть хорошо расположен для улавливания загрязненного воздуха;
- Он должен быть сконструирован таким образом, чтобы отфильтрованный воздух не попадал обратно в воздухозаборник [5].

### **Источники**

1. 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.

2. Ахметгалиев, И. Ф. Особенности сепарационной очистки попутного газа / И. Ф. Ахметгалиев, 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. 228-230. – EDN UCGNAZ.

3. Макуева, Д. А. Системы теплоснабжения жилого дома от солнечных коллекторов / Д. А. Макуева, Я. О. Шайхутдинов, 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. 270-272. – EDN VOVGRG.

4. Халилова, Э. А. К вопросу утепления крыши жилого дома / Э. А. Халилова, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2016. – № 2. – С. 249-251. – EDN YGGYFJ.

5. 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 ПQKZA.

УДК 644.1

## **ВЛИЯНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ НА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В ЗДАНИЯХ**

Коньжов Кирилл Вадимович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Кондратьев Александр Евгеньевич

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

konizhov.kirill@mail.ru

В данной статье обсуждаются эпидемиологические исследования, которые показывают связь между повреждением зданий влагой и ростом микробов, и последствиями для здоровья, включая респираторные симптомы и заболевания. Рассматривается влияние конструкций зданий на перенос загрязняющих веществ и рассматриваются различные факторы, влияющие на концентрацию загрязняющих веществ в воздухе внутри помещений, включая режим работы вентиляционной системы и качество приточного воздуха. Особое внимание уделяется влиянию климатических условий на показатели вентиляции в зданиях и возможным мерам для улучшения качества воздуха в помещениях.

**Ключевые слова:** вентиляция, качество воздуха, здания, микробы, загрязняющие вещества, приточный воздух, здоровье, климатические условия, вентиляционная система.

## THE EFFECT OF VENTILATION ON AIR QUALITY IN BUILDINGS

Konyzhov Kirill V.

Scientific advisor Kondratiev A.E.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

konizhov.kirill@mail.ru

This article discusses epidemiological studies that show a link between moisture damage to buildings and microbial growth, and health effects, including respiratory symptoms and diseases. The influence of building structures on the transport of pollutants is considered and various factors affecting the concentration of pollutants in indoor air are considered, including the operating mode of the ventilation system and the quality of the supply air. Special attention is paid to the influence of climatic conditions on ventilation in buildings and possible measures to improve indoor air quality.

**Keywords:** ventilation, air quality, buildings, microbes, pollutants, supply air, health, climatic conditions, ventilation system.

В эпидемиологических популяционных исследованиях повреждение зданий влагой и рост микробов связаны с рядом последствий для здоровья, включая респираторные симптомы и заболевания, а также другие симптомы. Последствия для здоровья, связанные с повреждением зданий влагой и ростом микробов, по-видимому, одинаковы в разных климатических условиях и географических регионах [1].

Некоторые загрязняющие вещества накапливаются в конструкциях уже на стадии строительства, поэтому микробиологически чистых зданий, вероятно, не существует. В случае повреждения почвы значительное количество загрязненного материала может остаться в конструкции даже после восстановления. Следовательно, потенциальный перенос загрязняющих веществ из конструкций очень важен для проектирования и строительства зданий. Важно знать, какие факторы влияют на выделение и проникновение вредных веществ и какие меры можно предпринять, чтобы избежать этого, такие как гидроизоляция и повышение давления [2].

Вентиляция напрямую не влияет на здоровье и восприятие жильцов, но сила вентиляции влияет на условия окружающей среды в помещении, включая концентрацию вредных веществ в воздухе, которые могут

негативно сказаться на здоровье и восприятии жильцов. Концентрация вредных веществ в воздухе конкретного помещения зависит от нескольких факторов, помимо скорости воздушного потока [3].

Интенсивность воздухообмена в большинстве зданий различна. Часто старые жилые здания работают с естественной вентиляцией, поэтому климатические условия сильно влияют на эффективность вентиляции. Как правило, система вентиляции в офисном здании работает не только ночью или на низком уровне, а интенсивность вентиляции во время работы зависит от внутренней тепловой нагрузки или температуры наружного воздуха. Снижение ночной вентиляции обычно создается только с помощью вытяжных вентиляторов, поэтому перепад давления в здании также резко меняется между днем и ночью. Концентрация вредных веществ может не достичь равновесия или достичь его всего через несколько часов после стабилизации скорости аэрации. Таким образом, качество воздуха в помещении также зависит от режима работы вентиляционной системы [4].

В дополнение к вышеуказанным факторам, на концентрацию вредных веществ в воздухе помещений влияют содержание и тип вредных веществ в наружном воздухе, возможность рециркуляции возвращаемого воздуха, расположение воздухозаборника наружного воздуха относительно источника загрязнения наружного воздуха, включая выпускной патрубок, источник загрязнения приточной и вытяжной систем, а также удаление вредных веществ из осадка на фильтре, адсорбенте или поверхности канала приточного воздуха. Таким образом, при одинаковой скорости вентиляции качество воздуха в помещении может существенно отличаться из-за разницы в качестве подаваемого воздуха [5].

### **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. Гилагова, Г. Р. Особенности применения солнечных коллекторов для системы отопления / Г. Р. Гилагова, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 25-27. – EDN TBANLT.

3. 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.

4. Халилова, Э. А. К вопросу утепления крыши жилого дома / Э. А. Халилова, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2016. – № 2. – С. 249-251. – EDN YGGYFJ.

5. 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. Garonenko, 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 ПQKZA.

УДК 620.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Крайков Максим Дмитриевич <sup>1</sup>, Гафиатуллина Камиля Расуловна <sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ваньков Юрий Витальевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>maksim\_kraikov@mail.ru, <sup>2</sup>Kgafiatullina@yandex.ru

В статье представлена работа по исследованию инновационной теплоизоляции на основе аэрогеля.

**Ключевые слова:** аэрогель, теплоизоляция, многослойная теплоизоляция, температура, инновационная теплоизоляция.

## INVESTIGATION OF THE THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF AN AEROGEL-BASED MATERIAL AT ELEVATED TEMPERATURES

Kraikov Maksim D. <sup>1</sup>, Gafiatullina Kamilya R. <sup>2</sup>

Scientific advisor Vankov Yu.V.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>maksim\_kraikov@mail.ru, <sup>2</sup>Kgafiatullina@yandex.ru

The article presents the work on the study of innovative thermal insulation based on aerogel.

**Keywords:** aerogel, thermal insulation, multilayer thermal insulation, temperature, innovative thermal insulation.

В данный момент времени существует проблема с энергосбережением предприятий, производящие тепловую энергию. Использование теплоизоляции на основе традиционных материалов не всегда помогает решить проблему, в связи с низкой плотностью и большим коэффициентом теплопроводности материал показывает себя не лучшим образом [1].

В связи с этим было принято решение о применении теплоизоляции на основе аэрогеля для теплоизоляционных чехлов, используемых на запорных арматурах, плотностью  $200 \text{ кг/м}^3$ , а также с низким коэффициентом теплопроводности  $0,016 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . С помощью лабораторного стенда [2] выявлены плюсы и минусы данного материала, проведен сравнительный анализ. Стенд позволит имитировать работу трубопровода, благодаря чему появляется возможность подойти с экспериментальной точки зрения к выбору теплоизоляции на оборудования и трубопроводы [3].

В ходе экспериментов были получены данные температуры на поверхности тепловой изоляции, изменение внешнего вида, а также тепловые характеристики при нагреве и охлаждении [4], так же взят усталостный фактор теплоизоляции при многократных испытаниях [5].

Температура на поверхности тепловой изоляции –  $61 \text{ }^\circ\text{C}$  при нагреве трубы в  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Результаты измерений представлены на рисунке 1, где верхний ряд диаграммы — это аэрогель при первом нагревании, а нижний ряд — это аэрогель при 20-ом нагревании [6].

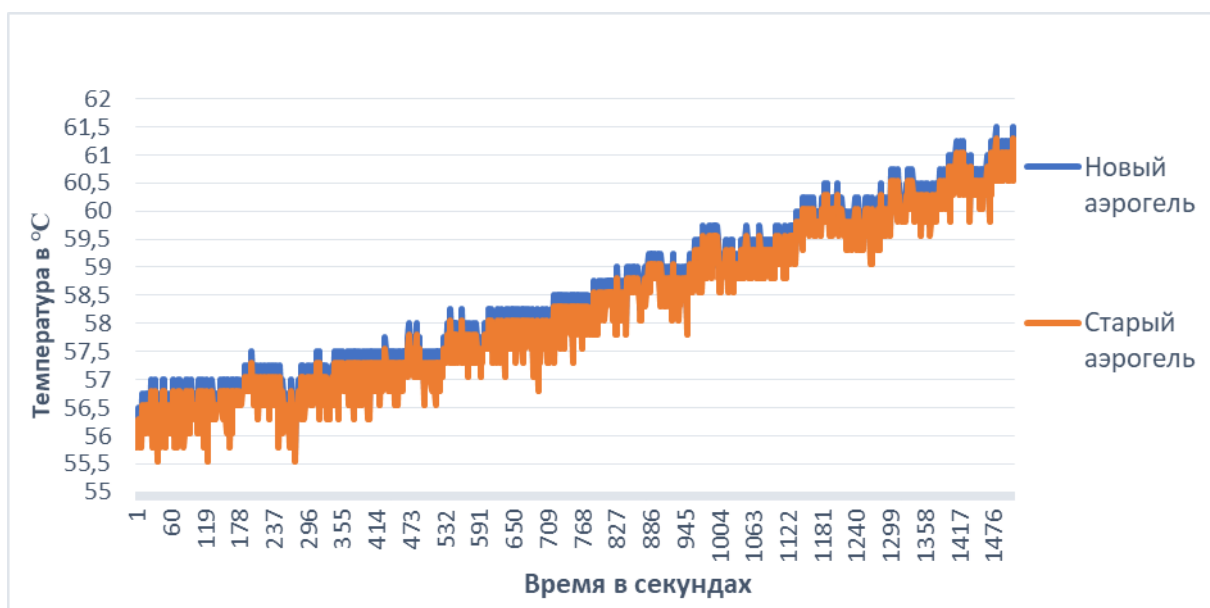


Рис. 1. – Разница температуры между испытываемыми теплоизоляционными покрытиями.



При проведении экспериментов был замечен усталостный фактор теплоизоляции, непосредственный контакт с нагретым металлом окрасил теплоизоляцию в бежевый цвет, и снизил его теплозащитные свойства.

Сравнение результатов исследования показало разницу в 0,2 °С между новым слоем и слоем, который испытывался более 20 раз при нагреве и охлаждении. Это говорит о высокой износостойкости аэрогелевого мата, которая в свою очередь является одной из самых важных характеристик теплоизоляционных материалов.

### **Источники**

1. Пастушков П.П., Гутников С.И., Павленко Н.В., Столяров М.Д. Исследования теплопроводности рулонных материалов на основе аэрогеля // Строительные материалы. 2020. №6. С. 39-43.
2. ТеплоСТОК: сайт. – URL: <https://teplo-com.ru/catalog/160601/> (дата обращения: 07.03.2024).
3. Шило М.А., Воробьёв Е.Н., Таранов В.Ф., Потапов А.Ю. Многослойная система теплоизоляции труб // URL: <https://www.ngpedia.ru/id508720p1.html> (дата обращения: 07.03.2024).
4. Михеев В.А., Сулаберидзе В.Ш., Расчётно-экспериментальные исследования эффективной теплопроводности композиционных материалов на основе полимеров // Мир измерений. 2017. № 3. С 26-28.
5. Карев Д.С., Мельников В.М., Иванченко А.Б. Расчет потерь теплоты при ее передаче по теплопроводу с применением САД/САЕтехнологий // Вестник КГЭУ. 2017. №4 (36). С. 65-73.
6. Рыбакова О.А., Лысенко А.В., Алмаметов В.Б. Прочная невесомость или аэрогель // Труды междуна. симп. «Надежность и качество». 2008. С. 103-104.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Кузнецов Илья Валериевич  
Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Звонарева Юлия Николаевна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
iliakuznetcov69@gmail.com

Материал статьи повествует о варианте перехода от весьма популярных в России открытых систем горячего водоснабжения к закрытым. Рассмотрен пример практической реализации при использовании закрытой зависимой системы с теплообменником с тремя ступенями, описаны преимущества при такой конфигурации системы горячего водоснабжения.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, теплоснабжение, горячее водоснабжение, открытая система, закрытая система.

## MODERNIZATION OF HEAT SUPPLY SYSTEMS

Kuznetcov Iliia V.  
Scientific advisor Zvonareva Yu.N.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
iliakuznetcov69@gmail.com

The material of the article tells about the option of switching from very popular open hot water supply systems in Russia to closed ones. An example of practical implementation is considered when using a closed dependent system with a three-stage heat exchanger, and the advantages of such a configuration of a hot water supply system are described.

**Keywords:** energy efficiency, heat supply, hot water supply, open system, closed system.

A new procedure for hot water supply according to closed schemes was introduced on January 1, 2022 under the law "On Heat Supply", Article 29 [1]. Hot water is used only for heating, and cold water is heated for hot water supply in local or central heating points.

The hot water supply system consists of fittings and pipelines, as well as devices that supply heated water or provide heating. An open and closed hot water supply system are two systems that are opposite in action, which have their positive and negative sides [2].

Advantages of open systems: The pressure stability in the open system is maintained hydraulically, that is, hot water squeezes out the cooling water. Thermal energy is provided to the maximum, without requiring high costs for

the coolant. Operation is facilitated by a minimum of equipment and ease of installation, which makes it economical.

However, there are a number of significant disadvantages, in some cases negating all the advantages of this type of system: the quality of the water is not drinkable; the presence of harmful chemical impurities that can cause irritation and dry the skin; the presence of orange color due to rust; unpleasant odor from hot water; in centralized conditions, water has a high cost; payment is required for more expensive desalinated water; due to improper operation of the system, water may appear above 100 ° C, which leads to burns.

One of the main disadvantages of an open network is the rapid cooling of hot water. Many users turn on the faucet in the morning and wait long enough for cold water to drain and hot water to run. Apartments where meters are installed suffer the most.

The disadvantage can also be attributed to the not too stable temperature in the heating radiators due to the rapidly cooling water. The benefit is lost due to the cost of water purification.

The benefit of operating a closed dependent hot water supply system with a three-stage heat exchanger is to reduce the need for hot water supplied to the building, and at the same time reduces the consumption of hot water by consumers themselves [3]. Based on calculations, the scheme with three stages of heating the water entering the hot water supply system prevails over the closed heat supply systems known today. For example, at a temperature of hot mains water at 70 ° C, its consumption decreases by 20%, which allows reducing the consumption of mains water from the heating system and, as a result, connecting additional structures and buildings to the system, as well as reducing the temperature of the return mains water and increasing the production of thermal energy at thermal power plants [4].

Urban heating systems, built a century ago, need to be modernized. The increase in the cost of tariffs for heat and electricity, the deterioration of the environmental situation, the increase in losses of fuel used and energy received, the increase in financial investments for maintenance and repair services. All this is a consequence of the use of archaic aggregates.

Meanwhile, the transfer of schemes from open to closed requires a large amount of investment and labor reserves. In addition, it is necessary to carry out a feasibility study of the choice of technical solutions for each consumer. This is dictated by the fact that the systems of the last century need to be reconstructed - the installations are becoming obsolete. Also, when switching to a closed system, it is important to take into account the synchronization of data collection and processing from different industries: heat supply, water supply and sewerage, electricity [5].

## **Источники**

1. Методика оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения / С. В. Чичерин, С. В. Глухов, М. В. Глухова [и др.] // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2021. – Т. 11, № 3(38). – С. 480-491. – DOI 10.21285/2227-2917-2021-3-480-491. – EDN ROYEYB.

2. Губина, Н. А. Особенности перехода жилого образования на закрытую систему теплоснабжения / Н. А. Губина // Научный вестник Арктики. – 2019. – № 7. – С. 65-71. – EDN QGPWWQ.

3. Рахимова Ю.И. Варианты модернизации региональных систем теплоснабжения / Ю.И. Рахимова // СОК. – 2023. – № 4. – С. 37-39.

4. Газизов, Ф. Н. Выбор критериев для анализа вариантов перевода на закрытую схему ГВС существующих систем теплоснабжения / Ф. Н. Газизов // Научный форум: технические и физико-математические науки : сборник статей по материалам XXII международной научно-практической конференции, Москва, 07 марта 2019 года. Том 3 (22). – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Международный центр науки и образования", 2019. – С. 4-9. – EDN OIJOCN.

5. Крюков, К. А. Системы теплоснабжения. Актуальность перевода на закрытую систему теплоснабжения в Санкт-Петербурге / К. А. Крюков, А. А. Глазков // ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ДОСТИЖЕНИЯ и ИННОВАЦИИ : сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 25 января 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 88-91. – EDN AZOWRW.

УДК 66.047, 691.002

## ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СУШКЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Мукатдаров Алик Альбертович<sup>1</sup>, Мукатдарова Диана Альбертовна<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Вафин Данил Биалалович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>alikjan1155@yandex.ru, <sup>2</sup>mukatdarovaaa@mail.ru

В статье представлено описание процесса сушки керамического кирпича. Рассмотрены основные теплотехнические устройства для подачи теплоносителя.

**Ключевые слова:** туннельная сушилка, ротомиксер, теплоноситель, горячий воздух, теплогенератор, вагонетка

# THERMAL PROCESSES WHEN DRYING CERAMIC BUILDING MATERIALS

Mukatdarov Alik A.<sup>1</sup>, Mukatdarova Diana A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Vafin D.B.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>alikhjan1155@yandex.ru, <sup>2</sup>mukatdarovaaa@mail.ru

The article provides a description of the drying process for ceramic bricks. The main thermotechnical devices for supplying coolant are considered.

**Keywords:** tunnel dryer, rotomixer, coolant, hot air, heat generator, trolley.

Производство керамических строительных материалов состоит из огромного количества различных составляющих, что делает данный процесс сложной цепочкой технологических действий напрямую зависящих друг от друга.

Одной из важнейшей такой составляющей технологического производства является сушка сырцов в сушилке.

Выделяют два вида сушильных отделений, используемых в производстве керамических строительных материалов.

Первая, это камерная сушилка, она является сушилкой периодического действия, в ней теплоноситель поступает в камеру через нижние подводящие каналы, охлаждается и насыщается влагой, после чего опускается и отводится через вытяжной канал.

Второй вид сушилки, использующийся в производстве керамических изделий, это туннельная сушилка. В ней используется принцип противотока, топочные газы, либо горячий воздух движутся навстречу сырцу [1].

Рассмотрим туннельную сушилку на одном из кирпичных производств Республики Татарстан, а именно сушилку Кошцаковского кирпичного завода.

Свежесформованный кирпич-сырец на колесных вагонетках поступает в сушильное отделение, где равномерно по очередности распределяется по 4-м путям, пятый путь используется для выхода из сушильного отделения в зону садки высушенного кирпича на обжиговой вагон.

Сушилка на данном предприятии представляет собой туннель, состоящий из пяти рельсовых путей. Туннельная сушилка включает в себя

291 вагонетку, где на 4-х путях находится по 58 сушильных телег, и на 5-м пути 59 вагонеток.

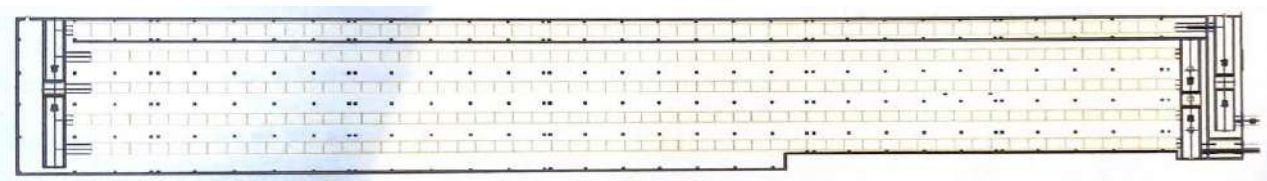


Рис. 1.Схема туннельной сушилки

Теплоноситель для сушилки отбирается из печи обжига, при необходимости обеспечения более высокой температуры теплоносителя, используются два теплогенератора. Основной приток состоит из 4-х вентиляторов, которые распределяют горячий воздух по четырем линиям. И это по всей длине пути туда сушилки. Дополнительный вентилятор направляет этот горячий воздух на путь обратно. Данный горячий воздух затем индивидуально распределяется на каждый ротомиксер [2].

В сушилке в общей сложности 156 ротомиксеров расположены на линии смешивания 20+20 ротомиксеров на 3 последних путях вагонеток. Первая линия включает в 21+15 ротомиксеров из-за отсутствия места в корпусе в начале этого пути. 10 первых вагонеток 4 путей не вентилируются.

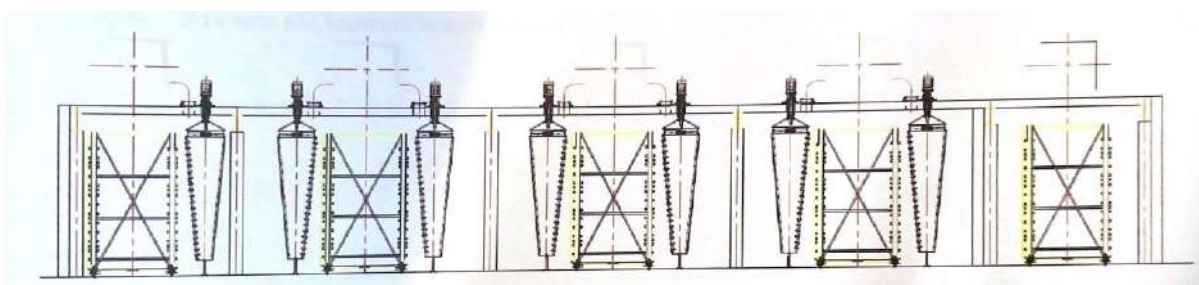


Рис. 2. Схема расположения ротомиксеров

Вытяжка влажного воздуха происходит с помощью трех осевых вентиляторов, где относительная влажность воздуха составляет 75%, объем вытяжки вентиляторами сушилки 35,2 кг сух.возд. при температуре 29°C.

Реальная ритмичность сушилки в среднем 81 вагонетку в день, приблизительно 17.3 мин на вагонетку, с такой ритмичностью цикл сушки составляет 3.5 вагонетки в час.

Процесс регулирования и управления туннельной сушилки осуществляется оператором по кривой сушки.

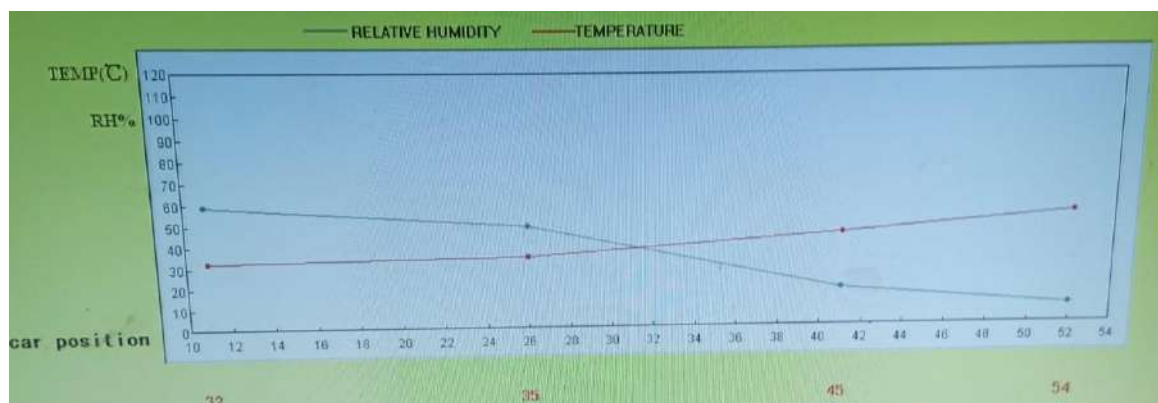


Рис. 3. Кривая сушки

Где на рисунке 3, синяя кривая это относительная влажность, красная кривая это значение температуры на позиции сушилки. Пересечение этих кривых называется критической точкой сушки. После прохождения данной точки заканчивается воздушная усадка изделия, и дальнейшая сушка возможна при более высоких температурах, с целью ускорения процесса.

При сушке изделия стремятся создать оптимальный режим, т. е. режим, при котором получают качественные изделия без трещин в минимальные сроки и при возможно меньших затратах тепла и электроэнергии. Такой режим можно устанавливать экспериментальным путем, когда из нескольких режимов выбирают наиболее эффективный. Этот путь дорогой, трудоемкий и длительный, а главное, не всегда дает лучшие результаты [3].

### Источники

1. Дагаев М.И., Муртазова Х.Т., Авторханов А.М. Система управления процессом обжига кирпича. Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2019. – т. 15. № 3. – С. 5 – 9.
2. Шпегель И.Ф., Ивсанов В.Г. Оптимизация туннельных печей // Научно-технический и производственный журнал. Строительные материалы. 2016. – апрель. С. 52 – 54.
3. Исмаилов М.И., Пиров Ф.С. Умаралиев Р.Ш. Имитационное моделирование технологических процессов термической обработки в среде RDO // Ученые записи Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. науки. 2011, №3.- С. 54 – 60.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ КАСКАДНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ**

Мурзаев Александр Сергеевич

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ваньков Юрий Витальевич

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

erodonov@list.ru

В докладе представлен обзор исследований по повышению эффективности использования каскадно расположенных материалов с фазовым переходом в моделях теплоаккумулирующих систем. Ознакомление с представленными ключевыми результатами исследований по данной тематике позволит сформировать теоретическую базу для проектирования более энергоэффективных конструкций аккумуляторов тепловой энергии.

**Ключевые слова:** аккумулятирование теплоты, каскадные РСМ, рекуперация, энергоэффективность, эффективность теплообмена.

## **INCREASING THE EFFICIENCY OF HEAT ACCUMULATORS BY CASCADING ARRANGEMENT OF PHASE CHANGE MATERIALS**

Murzaev Alexander S.

Scientific advisor Vankov Yu.V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

erodonov@list.ru

The report provides an overview of research on improving the efficiency of using cascaded phase change materials in models of heat storage systems. Familiarization with the presented key research results on this topic will allow us to form a theoretical basis for the design of more energy-efficient designs of thermal energy accumulators.

**Keywords:** heat storage, cascade PCM, recovery, energy efficiency, heat transfer efficiency.

Большое количество научных трудов посвящено повышению эффективности применения материалов с фазовым переходом (phase change materials, РСМ) в различных сферах жизни и деятельности человека. Немалый интерес исследователей характеризуется способностью РСМ



отводить и аккумулировать большое количество тепловой энергии в процессе изменения фазового состояния. Низкое значение теплопроводности РСМ (0,2–0,7 Вт/(м·К)) способствует поиску способов интенсификации теплообмена между теплоносителем и РСМ, а проектирование экономически целесообразных вариантов конструкций становится основной задачей проектирования теплообменного оборудования с РСМ.

В результате увеличения площади теплообмена с помощью рёбер и металлических пен, а также создания композитов РСМ/наноматериалы существенно снижается общая скрытая теплоёмкость системы. Таким образом, внедрение в теплоаккумуляторы нескольких РСМ с различными значениями температуры плавления ( $T_m$ ), исключая использование дополнительных интенсификаторов, является перспективным способом создания эффективных теплообменников. Такие конструкции, с одновременным использованием РСМ с различными параметрами, принято называть каскадными.

Каскадное расположение РСМ подразумевает разделение общего объема корпуса теплообменника на различное количество полостей, содержащих РСМ с различными  $T_m$ . Увеличение количества теплоты, саккумулированного в теплообменнике с каскадным РСМ, достигается путем наличия индивидуального для каждой системы объемного соотношения РСМ с различными температурами плавления [1]. Процесс перехода в жидкую фазу у РСМ с наименьшей  $T_m$  происходит раньше, а дальнейший перегрев данного РСМ только интенсифицирует теплообмен с РСМ, имеющими большее значение температуры фазового перехода. Таким образом, доля жидкой фазы в общем объеме РСМ в результате зарядки аккумулятора, а значит, и количество явной и скрытой теплоты в системах с каскадным расположением РСМ во многом определяется разницей  $T_m$  последовательно расположенных материалов с фазовым переходом. Несмотря на то, что процессы перехода в жидкую фазу у РСМ с различными значениями  $T_m$  происходят в разные временные отрезки, каскадное расположение позволяет добиться уменьшения времени плавления общего объема РСМ [2].

Каскадное расположение инкапсулированных РСМ при многослойном расположении капсул различного диаметра и с РСМ, имеющими различные значения  $T_m$ , также позволило добиться повышения эффективности, которое, в большинстве исследований, характеризуется количеством энергии, запасенной на единицу массы РСМ. Численное значение разницы температур теплоносителя на входе и на выходе из теплообменника, в случаях с каскадным инкапсулированным и неинкапсулированным РСМ, остается постоянным, в сравнении с использованием только одного вида РСМ, на

большем временном отрезке. Это подразумевает возможность достижения более высокой скорости теплопередачи на протяжении зарядки аккумулятора, способствуя повышению эффективности рекуперации тепловой энергии [3]. При расположении капсул в порядке возрастания их диаметра по траектории движения теплоносителя характерно более раннее инициирование процесса плавления РСМ [4]. Дело объяснения такого эффекта стоит отметить, что для слоя с капсулами меньшего диаметра характерно более высокое соотношение площади поверхности к объему капсул, что способствует интенсификации теплообмена. Значение пористости слоя РСМ с большим диаметром капсул существенно ниже, чем для слоя с более высоким значением плотности упаковки, а значит, граничному капсульному слою требуется меньше времени для плавления РСМ. Расположение на дне резервуара капсул РСМ с большим диаметром способствует уменьшению кондуктивного теплопереноса в процессе зарядки аккумулятора, что, приводит к стабилизации температурного градиента по высоте резервуара после накопления тепловой энергии.

Разработка более эффективных теплообменников требует дополнительных исследований по поиску оптимального объемного соотношения РСМ с различными  $T_m$ , целесообразного градиента пористости инкапсулированных РСМ при различных температурах теплоносителя на входе и изучения режимов зарядки и разрядки моделей теплоаккумуляторов с каскадными РСМ при изменении направления движения теплоносителя. Интерес вызывает оценка экономической целесообразности интегрирования теплообменников с каскадным РСМ в технологические процессы энергетики.

Исследования поддерживаются Государственным заданием № 075–03–2024–226.

### **Источники**

1. Fang M., Chen G. Effects of different multiple PCMs on the performance of a latent thermal energy storage system //Applied Thermal Engineering. – 2007. – Т. 27. – №. 5-6. – С. 994-1000.

2. Li W. et al. Experimental and numerical investigation of the melting process and heat transfer characteristics of multiple phase change materials //International Journal of Energy Research. – 2020. – Т. 44. – №. 14. – С. 11219-11232.

3. Peiró G. et al. Experimental evaluation at pilot plant scale of multiple PCMs (cascaded) vs. single PCM configuration for thermal energy storage //Renewable energy. – 2015. – Т. 83. – С. 729-736.

4. Majumdar R., Saha S. K. Computational study of performance of cascaded multi-layered packed-bed thermal energy storage for high temperature applications //Journal of Energy Storage. – 2020. – Т. 32. – С. 101930.

УДК 620.93

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ОТХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ С ГЛУБОКОЙ УТИЛИЗАЦИЕЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ASPEN HYSYS**

Мустафин Равиль Мансурович

Науч. рук. к.т.н., доцент Пащенко Дмитрий Иванович

ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара

ravil-bk211@mail.ru

В работе проведено исследование системы термохимической рекуперации (ТХР) теплоты отходящих дымовых газов с глубокой утилизацией в программном комплексе Aspen Hysys. Представлены результаты расчета энергетической эффективности различных схем на примере работы печи. Показан прирост степени рекуперации для схемы ТХР с глубокой утилизацией. Рассчитана экономия воды для схемы ТХР с глубокой утилизацией, которая составила 64% от изначального расхода.

**Ключевые слова:** термохимическая рекуперация, паровая конверсия метана, компьютерное моделирование, Aspen Hysys.

## **STUDY OF THE SYSTEM OF THERMOCHEMICAL HEAT RECOVERY OF EXHAUST FLUE GASES WITH DEEP RECYCLING IN THE ASPEN HYSYS SOFTWARE COMPLEX**

Mustafin Ravil M.

Scientific advisor Pashchenko D.I.

SSTU, Samara

ravil-bk211@mail.ru

The work carried out a study of a system for thermochemical heat recovery (TCR) of exhaust flue gases with deep utilization in the Aspen Hysys software package. The results of calculating the energy efficiency of various schemes using the example of a furnace are presented. An increase in the degree of recovery is shown for the TCR scheme with deep

utilization. Water savings were calculated for the TCR scheme with deep utilization, which amounted to 64% of the initial consumption.

**Keywords:** thermochemical recovery, steam methane reforming, computer modeling, Aspen Hysys.

Уже давно наблюдается проблема энергосбережения, она особо актуальна для высокотемпературных теплотехнологических установок (ВТУ), в которых наблюдается высокая доля тепловых потерь с уходящими дымовыми газами (до 75%). Одним из наиболее эффективных способов повышения энергетической эффективности ВТУ является термохимическая рекуперация (ТХР) теплоты отходящих дымовых газов. Такой способ позволяет достигать большой степени рекуперации теплоты от бросовых источников. Наиболее распространенным способом ТХР теплоты в ВТУ является ТХР за счет паровой конверсии метана [1-3]. Однако этот способ имеет большой недостаток в виде необходимости подвода дополнительно тепла для генерации пара.

В работе предлагается решение проблемы дополнительного подвода тепла для генерации пара путем внедрения в схему ТХР конденсационной установки, которая позволит извлечь из дымовых газов скрытую теплоту конденсации и сконденсировать воду для производства пара.

Для проведения исследования использовался программный комплекс Aspen Hysys. Он позволяет выполнять различные расчеты в области инженерии, включая массовые и энергетические балансы, теплопередачу, массоперенос, химическую кинетику.

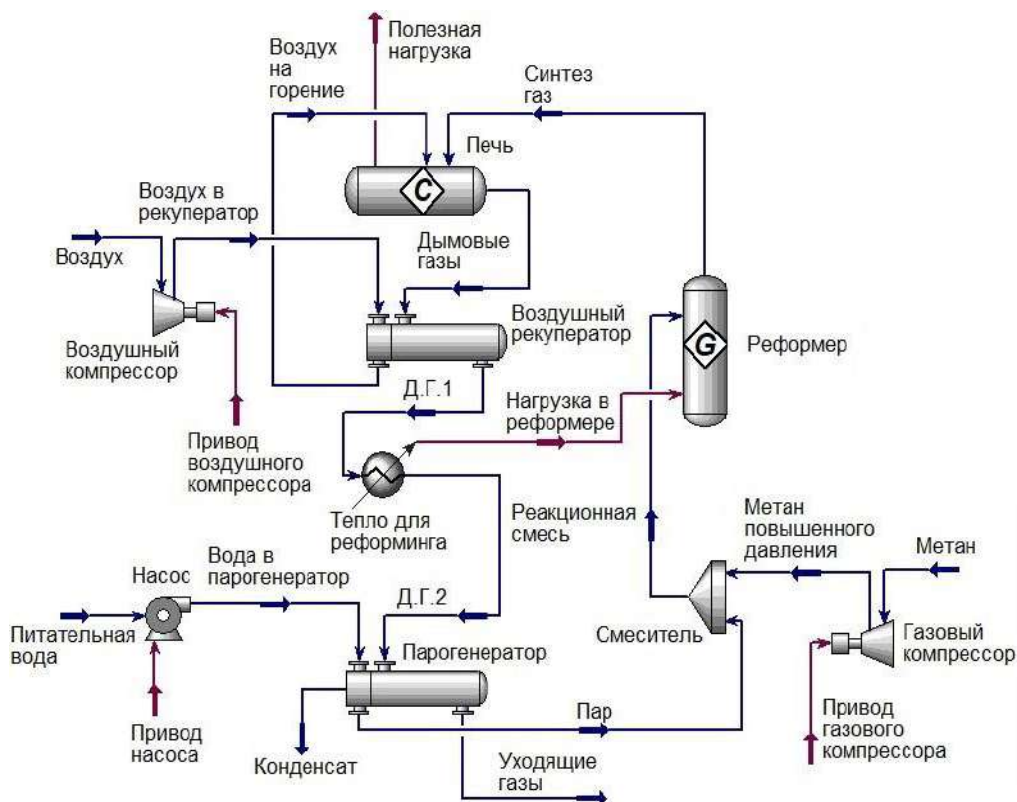


Рис. 1. Модель технологической схемы ТХР в Aspen Hysys

На рисунке 1 представлена численная модель технологической схемы ТХР теплоты отходящих дымовых газов с глубокой утилизацией на примере печи в программном продукте Aspen Hysys.

Основным показателем энергетической эффективности является степень рекуперации теплоты. Степень рекуперации теплоты рассчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{Q_{\text{рекуперации}}}{Q_{\text{располагаемое}}} \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент рекуперации,  $Q_{\text{рекуперации}}$  – полезное тепло, которое возвращается в цикл,  $Q_{\text{располагаемое}}$  – полное тепло, которое содержится в дымовых газах.

Для анализа эффективности проектируемой схемы проводилось сравнение трех схем работы печи: 1) с термической рекуперацией; 2) с термохимической рекуперацией без глубокой утилизации; 3) с термохимической рекуперацией с глубокой утилизацией.

Результаты расчета показали следующее: для первой схемы степень рекуперации составила 0,35, для второй 0,73 и для третьей 0,80. Видно, что

третья схема дает наибольшую степень рекуперации теплоты отходящих дымовых газов, следовательно, ее эффективность выше по сравнению с первой и второй схемой. Еще одним из преимуществ схемы ТХР теплоты отходящих дымовых газов с глубокой утилизацией перед схемой без глубокой утилизации является экономия воды, используемой для паровой конверсии метана. Применяя конденсацию водяных паров в схеме ТХР можно сконденсировать до 64% воды.

### **Источники**

1. Pashchenko D, Makarov I. Carbon deposition in steam methane reforming over a Ni-based catalyst: Experimental and thermodynamic analysis // Energy. 2021. Т. 222. С. 119993.

2. Shi X., Zhang X., Wang F., Yang L., Dong Y., Shuai Y. Thermochemical analysis of dry methane reforming hydrogen production in biomimetic venous hierarchical porous structure solar reactor for improving energy storage // International Journal of Hydrogen Energy. 2021. Т. 46. № 11. С. 7733-7744.

3. Wachter P., Gaber C., Demuth M., Hochenauer C. Towards a recuperative, stationary operated thermochemical reformer: Experimental investigations on the methane conversion and waste heat recovery // Applied Thermal Engineering. 2021. Т. 183. С. 116121.

УДК.620.92

## **ПРОБЛЕМЫ, СДЕРЖИВАЮЩИЕ РАЗВИТИЕ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАХ**

Мухутдинов Айрат Рафаэлевич

науч. рук. доктор. техн. наук, проф. Ваньков Юрий Витальевич

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

ayrat.mukhutdinov.2016@mail.ru

Несмотря на мрачные прогнозы для угольной отрасли, твердые ископаемые остаются самым доступным и распространённым источников энергии в мире. Однако при использовании угольного топлива образуются золошлаковые отходы, которые представляют собой дополнительные проблемы и возможности.

**Ключевые слова:** Золошлаковые отходы, топливо, сжигание угля, проблема развития.

## PROBLEMS IS HINDERING THE DEVELOPMENT OF ASH AND SLAG WASTE PROCESSING IN VARIOUS REGIONS

Mukhutdinov Ayrat R.

Scientific advisor Vankov Yu.V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ayrat.mukhutdinov.2016@mail.ru

Despite the gloomy forecasts for the coal industry, solid minerals remain the most affordable and widespread energy sources in the world. However, when using coal fuel, ash and slag wastes are formed, which present additional problems and opportunities.

**Keywords:** Ash and slag waste, fuel, coal burning, development problem.

Золошлаковые отходы — это продукт сжигания угля или других топлив в процессах энергетики и промышленности. В состав золошлака входят остатки минеральных веществ, которые образуются при сгорании угля или других топлив. Он обладает различным химическим составом и физическими свойствами, что зависит от процесса сгорания, качества топлива и условий технологического процесса.

Золошлаковые отходы образуются в следующих случаях:

1. Золошлак образуется в результате сжигания угля, газа, нефти или древесины в электростанциях для производства электроэнергии.
2. Золошлак это продукт обработки металлургических руд и сплавов, обычно при производстве чугуна и стали.
3. В процессе обжига клинкера для производства цемента образуется цементный клетчатый золошлак [1].

Золошлаковые отходы применяются в таких областях, как:

1. Строительство: золошлаковые отходы могут быть использованы для производства строительных материалов.
2. Дорожное строительство: золошлак может быть использован в дорожном строительстве для укрепления и уплотнения грунта или в качестве наполнителя для асфальтовых смесей. Добавление 15-30% ЗШО в состав цемента повышает его прочность и водостойкость.
3. Сельское хозяйство: золошлак может быть применен в сельском хозяйстве в качестве минерального удобрения. При внесении в почву они повышают ее плодородие и питательный состав, они также помогают в рекультивации истощенных земель. Оптимальное количество расхода ЗШО - 60 т/га. ЗШО, а именно летучая зола может использоваться в качестве пестицида, защищая растения от вредителей и повышая их устойчивость к болезням.

4. Энергетика: золошлак может быть использован в производстве электроэнергии как топливо или для производства тепла [2].

Переработка золошлаковых отходов сталкивается с проблемами развития из-за отсутствия необходимой инфраструктуры, так же по причине недостаточного финансирования, и из-за нормативных и законодательных ограничений [3]. Также еще одной проблемой является нехватка специалистов для реализации проектов по золошлакоутилизации, поэтому необходимо обеспечить обучение сотрудников и привлечение новых кадров.

Преодоление этих проблем и препятствий требует комплексного подхода со стороны государства, бизнеса, населения и научно-исследовательских учреждений. Необходимо разработать эффективные механизмы финансирования, развития инфраструктуры и регулирования сферы переработки золошлаковых отходов, а также проводить информационно-просветительскую работу с целью повышения осведомленности и поддержки общественности [4].

Также важно активное взаимодействие с государственными и частными структурами для улучшения условий переработки золошлаковых отходов. Необходимо разработать инвестиционные программы, привлечь финансирование и поддержку со стороны государства, создать специализированные предприятия и площадки для переработки отходов, а также установить партнерские отношения с частными компаниями для внедрения современных технологий.

В России по данным Министерства энергетики в связи с обильной добычей ископаемых, нарушаются огромные площади земель. Их рекультивация с помощью таких отходов позволит вернуть большие площади в хозяйственный оборот. [5].

Проведение образовательных кампаний и информационной работы среди населения и бизнеса также играет важную роль в решении проблемы переработки золошлаковых отходов. Чем больше людей будут осведомлены о преимуществах переработки отходов и возможностях их использования, тем больше будет поддержки и востребованности данного процесса. Поэтому необходимо проводить информационные кампании, обучающие семинары и конференции, а также активно взаимодействовать с общественностью через различные каналы связи.

#### **Источники**

1. Шамбер Ольга Юрьевна К вопросу о возможности применения золошлаков // Символ науки. 2017. Т-2. №1. С. 117-119.
2. Гафуров А.М., Осипов Б.М., Гатина Р.З., Гафуров Н.М. Возможные пути снижения выбросов углекислого газа // ИЗВУЗ. Проблемы энергетики. 2017. Т-19. №9-10. С.21-31.



3. Пичугин Е. А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии, 2019. №. 4. С.39-42.

4. Кожуховский И. С., Цельковский Ю. К., Цховребов Э. С. Организационно-экономические и правовые аспекты создания и развития производственно-технических комплексов по переработке золошлаковых отходов в строительную и иную продукцию // Вестник МГСУ, 2019. Т. 14. №. 6 (129).

5. Щеглов Ю.В. и др. Установка для обогащения золошлаковых материалов. Патент России, 176622, 2018. Бюл. № 3.

УДК 620.9

## **ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИЛОГО РАЙОНА ЗА СЧЕТ МИНИ-ТЭЦ**

Новоселова Марина Сергеевна  
Науч.рук.д-р техн, наук, проф. Ваньков Ю.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
nova-mara0607@list.ru

Рассматривается возможность обеспечения жилого района отоплением при работе малой теплоэлектроцентрали, покрывающей электрические нагрузки.

**Ключевые слова:** малая распределенная энергетика, теплоснабжение, малая тепловая электростанция, газотурбинная мини-ТЭЦ.

## **ENERGY SUPPLY OF THE RESIDENTIAL REGION AT THE EXPENSE OF MINI-CHP**

Novoselova Marina S.  
Scientific advisor Vankov Yu.V.  
KSREU, Kazan, Republic of Tatarstan  
nova-mara0607@list.ru

The possibility of providing a residential area with heating during the operation of a small thermal power plant covering electrical loads is being considered.

**Keywords:** small distributed energy, heat supply, small thermal power plant, gas turbine mini-CHP.

Повысить эффективность работы малого энергетического комплекса можно за счет утилизации отводимой в атмосферу теплоты [1]. На основе проведенного ранее расчета газотурбинной установки, которая служит основой для малой ТЭЦ, была показана возможность бесперебойного и

эффективного электроснабжения населения при эксплуатации объекта малой генерации вблизи жилого комплекса. При возможности полностью покрывать пиковые нагрузки малого жилого района, состоящего из построек старого типа, встает вопрос о возможности когенерационной работы мини-ТЭЦ и покрытия тепловых нагрузок района.

С учетом нормы потребления электроэнергии на человека [2], живущего в доме с электронагревательными приборами, работающими для обеспечения горячего водоснабжения, газотурбинная установка номинальной мощностью 18 МВт, способна обеспечить около 80 000 чел.

В качестве прототипа для расчетов тепловой нагрузки мини-ТЭЦ на отопление был выбран п. Дербышки, строения в котором усредненно имеют следующие характеристики:

- в основном дома были введены в эксплуатацию в 1960-70-х гг.;
- количество этажей – 5;
- количество квартир в доме приблизительно равно 53;
- средняя площадь одного дома равна 3500 м<sup>2</sup>.

При расчетной температуре в г. Казань, равной –29°С [3], а также температурном графике работы мини-ТЭЦ 95/70, сетевой водой, нагретой уходящими газами ГТУ, возможно получить 27845,2 кВт энергии.

Помимо этого, проведена оценка глубины охлаждения выхлопных газов за газотурбинной установкой при различных температурах наружного воздуха. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры уходящих из газотурбинной установки газов.

Параметр	Значение параметра							
	–29	–25	–20	–15	–10	–5	0	5
Температура наружного воздуха, °С	–29	–25	–20	–15	–10	–5	0	5
Температура выхлопных газов ГТУ, °С	386	392	400	408	417	425	433	441
Расход выхлопных газов ГТУ, кг/с	103,33	103,34	103,35	103,36	103,37	103,38	103,39	103,39
Температура газов после теплообменника, °С	160	168	177	187	198	207	217	227

Учитывая характеристики строений прототипа жилого района, газотурбинная мини-ТЭЦ с утилизационным теплообменником способна покрыть нужду в тепловой энергии для 94 многоквартирных домов этого района, обеспечивая при этом стабильное электроснабжение и улучшая экологичность работы мини-ТЭЦ, за счет снижения теплового загрязнения окружающей среды.

### **Источники**

1. Исследование режимных параметров мини ТЭС на базе двигателя НК-16СТ мощностью 16 МВт / А. А. Пиколенкова, А. К. Проломова, И. В. Беденьгов, Г. Р. Мингалеева // Высшая школа: научные исследования : материалы Межвузовского научного конгресса, Москва, 28 мая 2020 года. – Москва: Инфинити, 2020. – С. 107-114.
2. Татэнергосбыт: Нормативы потребления электроэнергии. URL: <https://tatenergobyt.ru/supply/tarifs/norms/> (дата обращения: 25.02.2024).
3. СП 131.13330.2020: актуализир. ред. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология / Минрегионразвития РФ. - М.: ФАУ «ФЦС», 2012. - 96 с.

УДК 621.577.6

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Румянцев Алексей Сергеевич

Науч. рук. к.т.н., доц. Козлова Мария Владимировна  
ФГБОУ ВО «ИГЭУ», г. Иваново, Ивановская область

[rumoal@yandex.ru](mailto:rumoal@yandex.ru)

В статье приведены результаты расчетных исследований работы систем теплоснабжения, функционирующих на базе парокompрессионных тепловых насосов. В работе в качестве низкопотенциального источника теплоты рассматривается наружный воздух. Исследования выполнены для различных климатических условий, в ходе расчетов используются коэффициенты трансформации, полученные в результате испытаний тепловых насосов фирмы De Dietrich.

**Ключевые слова:** система теплоснабжения, парокompрессионный тепловой насос, коэффициент трансформации, нагрузка на систему отопления, температурный график.

# ESTIMATION OF THE APPLICATION ELECTRICALLY-DRIVEN HEAT PUMP EFFECTIVENESS IN AUTONOMOUS HEAT SUPPLY SYSTEMS

Rumyantsev Alexey S.

Scientific advisor Kozlova M.V.

ISPU, Ivanovo, Ivanovo Region

rumoal@yandex.ru

The article presents the results of computational studies of the operation of heat supply systems operating on the basis of steam compression heat pumps. In the work, outdoor air is considered as a low-potential source of heat. The studies were carried out for various climatic conditions, during the calculations the transformation coefficients obtained as a result of tests of De Dietrich heat pumps are used.

**Keywords:** heat supply system, electrically-driven heat pump, transformation coefficient, load on the heating system, temperature chart.

Согласно статистическим данным на сегодняшний день газифицированными являются порядка 70% жилых территорий Российской Федерации [1]. В качестве источников в автономных системах теплоснабжения в негазифицированных регионах применяются: котельные установки на сжиженном газе, жидком и твердом топливах, а также электрические котлы. Однако использование данных источников может быть экономически нецелесообразным, кроме этого, для ряда перечисленных систем необходимо решать вопросы, связанным с хранением органического топлива. Стоит отметить, что в соответствии с положениями Федерального Закона №261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» актуальными являются вопросы энергоресурсосбережения при теплоснабжении. В этой связи исследование работы автономных систем теплоснабжения, функционирующих на базе парокompрессионных тепловых насосов являются актуальными.

В качестве потребителя тепловой энергии в работе рассматривается коттедж площадью 152 м<sup>2</sup>. При этом в ходе расчетного исследования нагрузка на систему отопления определялась методом теплового баланса, было принято, что отопительный период начинается с температуры +12 °С, а система работает с температурным графиком 80/60. Основные характеристики рассматриваемой системы представлены в таблице.

### Основные характеристики системы теплоснабжения

Месторасположение объекта	Расчетная температура наружного воздуха, °С	Длительность отопительного периода, ч	Нагрузка на систему отопления, кВт
г. Архангельск	–34	7646	10,62
г. Алейск	–35	6363	10,66
г. Байкальск	–27	7148	8,66
г. Благовещенск	–33	6152	10,59
г. Биробиджан	–31	5802	10,13
г. Нея	–32	6853	10,37
г. Магадан	–28	8475	9,23
г. Мурманск	–28	8321	9,24
п. Северный	–21	5609	7,64
г. Сосновый Бор	–24	6723	8,34

Для покрытия отопительной нагрузки предусматривается установка бивалентной системы, включающей в себя тепловой насос типа «воздух-вода» фирмы De Dietrich, а также дополнительный источник, представленный электрическим котлом.

При оценке эффективности использовались реальные значения коэффициента трансформации, полученные в результате испытаний данных тепловых насосов при различных температурах наружного воздуха и температуры воды в подающем трубопроводе. Расчеты выполнялись по методике, представленной в [2].

В ходе исследования было выявлено, что для системы отопления тепловой насос будет функционировать вплоть до температуры  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в ряде случаев до  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в наиболее холодные интервалы отопительного периода работает только дополнительный источник.

Значения полученных среднегодовых коэффициентов трансформации для различных климатических условий приведены на рисунке.



Значение среднегодового коэффициента трансформации теплового насоса

Полученные результаты показывают целесообразность использования тепловых насосов в автономных системах теплоснабжения.

### **Источники**

1. Васильков, А. А. Оценка экономической эффективности использования геотермальных установок в условиях Костромской области / А. А. Васильков, Т. М. Василькова // Вестник АПК Верхневолжья. – 2017. – № 3(39). – С. 75-78.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022661492 Российская Федерация. «Оценка энергетической эффективности работы бивалентной системы теплоснабжения, функционирующей на базе теплового насоса «воздух-вода»: № 2022660883: заявл. 15.06.2022: опубл. 22.06.2022 / М. В. Козлова, С. А. Воронин, А. А. Кряжева.

УДК 621.564

## **ВЛИЯНИЕ ХЛАДАГЕНТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Смирнова Елизавета Павловна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Загретдинов Айрат Рифкатович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elizaveta.sm27@mail.ru

В статье рассматривается процесс охлаждения и различные виды хладагентов, используемых в холодильных машинах и кондиционерах. Фреоны и хладоны играют решающую роль в эффективной работе холодильных установок, кондиционеров и других систем, а также требуют особого внимания в контексте их воздействия на окружающую среду и необходимости развития экологически устойчивых альтернатив.

**Ключевые слова:** охлаждение, хладагенты, фреоны, хладоны, экологическое воздействие.

## **ENVIRONMENTAL IMPACT OF REFRIGERANTS**

Smirnova Elizaveta P.

Scientific advisor Zagretdinov A.R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

elizaveta.sm27@mail.ru

The article discusses the cooling process and various types of refrigerants used in refrigerating machines and air conditioners. Freons and refrigerants play a crucial role in the efficient operation of refrigeration units, air conditioners and other systems, and also require special attention in the context of their environmental impact and the need to develop environmentally sustainable alternatives.

**Keywords:** refrigeration, refrigerants, freons, freons, environmental impact.

Охлаждение является процессом снижения температуры тел. Для осуществления процесса охлаждения необходимо наличие двух тел: охлаждаемого объекта и источника низкой температуры, который выполняет функцию охлаждающего агента. Процесс охлаждения продолжается до тех пор, пока происходит обмен теплом между этими телами. Эффективное охлаждение требует постоянной работы источника низкой температуры, что достигается путем достаточного запаса охлаждающего вещества или постоянного восстановления его первоначального состояния [1].

В зависимости от рабочего тела (холодильного агента) холодильные машины, основанные на обратном цикле Карно, разделяются на паровые и газовые. В испарителе паровой холодильной машины происходит испарение рабочего тела при передаче тепла от охлаждаемого объекта. В конденсаторе происходит конденсация рабочего тела, при которой тепло переходит в окружающую среду.

Для непрерывного охлаждения машинными способами требуется третье тело, переносящее тепло между охлаждаемым объектом и приемником тепла [2]. Это тело называется рабочим телом или холодильным агентом, который должен непрерывно участвовать в циклическом процессе, перенося тепло и возвращаясь в первоначальное состояние.

Фреоны, также известные как хладоны, являются углеводородами, широко применяемыми в различных отраслях промышленности, особенно при создании морозильных камер и кондиционеров. На протяжении длительного времени термин "фреон" использовался для обозначения любого хладагента, а в Советском Союзе они были известны как хладоны.

Сегодня существует около 50 различных видов охлаждающих жидкостей с уникальными свойствами и областями применения. Хладоны представляют собой галоидопроизводные углеводородов, полученные путем замены атомов водорода на атомы фтора, хлора и брома в насыщенных углеводородах. Они отличаются химической инертностью, маловоспламеняемы и не представляют угрозы взрыва в нормальных условиях.

Физические свойства фреона позволяют ему эффективно потреблять и выделять тепло из окружающей среды. Он обычно представляет собой бесцветный и беззапаховый газ или жидкость с оптимальной растворимостью в органических растворителях и практически нерастворим в воде. Химически фреоны являются инертными веществами, не обладающими свойствами возгорания или взрыва, за исключением некоторых разновидностей, которые при нагревании до 250 °С могут выделять токсичный газ - фосген. Однако хладоны, содержащие хлор и бром, являются вредными для озонового слоя и способствуют парниковому эффекту. Их производство и использование было запрещено в соответствии с Монреальским протоколом, и в настоящее время промышленность переходит на производство более экологически безопасных хладонов, таких как R410a и R32a [3].

Фреон R22, также известный как фреон 22, широко используется в системах, требующих охлаждения при очень низких температурах, таких как промышленные и бытовые морозильные камеры, автомобильные и морские холодильники. Однако его использование наносит вред окружающей среде, поэтому экологами не рекомендуется.

В заключении хочется отметить, что процесс охлаждения играет важную роль в различных отраслях промышленности и бытовых условиях. Эффективное охлаждение требует непрерывной работы источника низкой температуры, который может быть обеспечен достаточным запасом охлаждающего вещества или постоянным восстановлением его первоначального состояния. Разнообразие хладагентов, таких как фреоны и хладоны, обеспечивает различные свойства и области применения. Однако, с учетом их воздействия на окружающую среду, переход на более экологически безопасные хладагенты, такие как R410a и R32a, становится важным направлением развития. Экологические аспекты использования хладагентов играют важную роль в сохранении нашей планеты. Воздействие этих веществ на озоновый слой и парниковый эффект требует особого внимания и приверженности к устойчивым практикам в промышленности. Необходимо продолжать исследования в этой области и разработку инновационных экологически чистых веществ, чтобы минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и обеспечить устойчивое развитие.

### **Источники**

1. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Анализ и выбор экологически безопасных хладагентов для систем теплоснабжения зданий воздушными тепловыми насосами // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2020. №1 (61).



2. Малинина О.С., Малышев А.А., Низкотемпературные системы. Введение и инновационные направления развития – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 56 с.

3. Холодильные машины: Учебник для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур» / Под общ. ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 2006. – 944 с.

УДК 620.22-022.532

## **ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ**

Тимершин Азат Робертович<sup>1</sup>, Шарафиев Дмитрий Евгеньевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ваньков Юрий Витальевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>timer.az@yandex.ru, <sup>2</sup>vip.sharafiev00@mail.ru

В статье рассмотрены основные методы функционализации углеродных нанотрубок для повышения теплофизических свойств наномодифицированных теплоносителей, представлены основные компоненты для газофазного процесса окисления поверхности УНТ, определены преимущества и недостатки методов функционализации для повышения диспергирования УНТ в теплоносителе.

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, функционализация, газофазный процесс, теплоноситель, окисление.

## **FUNCTIONALIZATION OF CARBON NANOTUBES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF MODIFIED COOLANTS**

Timershin Azat R.<sup>1</sup>, Sharafiev Dmitry E.<sup>2</sup>

Scientific advisor Vankov Yu.V.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>timer.az@yandex.ru, <sup>2</sup>vip.sharafiev00@mail.ru

The article discusses the main methods of functionalization of carbon nanotubes to improve the thermophysical properties of nanomodified coolants, presents the main components for the gas-phase process of oxidation of the CNT surface, and identifies the advantages and disadvantages of functionalization methods to increase the dispersion of CNTs in the coolant.

**Keywords:** carbon nanotubes, functionalization, gas-phase process, coolant, oxidation.

Интенсификация теплообменных процессов является актуальной научно-технической задачей. В настоящее время существует множество способов повышения эффективности за счет изменения форм поверхности теплообмена, внедрения различных завихрителей потока, всё это повышает металлоемкость массогабаритные характеристики и стоимость конечного оборудования.

Одним из перспективных способов является модификация теплоносителя за счет внедрения в его состав материалов, повышающих его теплофизические характеристики, таких как углеродные нанотрубки (УНТ). Углеродные нанотрубки обладают уникальным сочетанием свойств, а именно малые размеры, огромная удельная поверхность, термическая и химическая стабильность, высокие показатели теплопроводности. В настоящий момент существуют исследования подтверждающие экономическую целесообразность использования теплоносителей модифицированных УНТ. Одним из основных недостатков УНТ, ставящих под вопрос возможность широкого распространения подобного теплоносителя – склонность УНТ создавать агломерации на теплообменных поверхностях.

Одним из основных способов решения данной проблемы является механоактивация и ультразвукового воздействия на среду, обеспечивающее равномерное начальное распределение частиц наномодификатора в объеме жидкости, не позволяя получить пролонгированный эффект [1]. Более длительный эффект имеет применение поверхностно-активных веществ и внесение изменений в химический состав поверхности нанотрубок с использованием функционализации, данный способ может снизить тенденцию наночастиц к агрегации в водной среде. Эти меры способствуют более равномерному распределению нанотрубок, предотвращая их склеивание и образование крупных агломераций, что снижает их расход.

В настоящее время имеется множество способов окисления в различных системах: концентрированной азотной кислоте и смесях на ее основе; перманганате калия; смеси перекиси водорода с аммиаком, также имеется возможность окисления в горячем воздухе [2], парах азотной кислоты, озоне. Первый вариант требует высоких температур – 300-400 °С, второй и третий требуют достаточно агрессивных и токсичных реагентов, помимо токсичности используемых реагентов, при функционализации в азотной кислоте, а также смеси азотной и серной кислот, наблюдается создание плотных агломераций, возникающих в процессе сушки готовых УНТ [3].

Самым простым и дешевым способом является обработка УНТ в парах 37 % раствора перекиси водорода при температуре 140 °С, минимальная степень дефектности, указывающая на отклонение в структуре УНТ, достигается при выдержке на протяжении 10 часов. Основным недостатком данного способа является возможность создания упорядоченных графеновых слоев, что может негативно сказаться на теплофизических свойствах теплоносителя [4].

Из всех рассмотренных методов функционализации наибольший интерес вызывает окисление УНТ гипохлоридом натрия. Исходными компонентами являются: УНТ в водной пасте, гипохлорит натрия, карбонат натрия в соотношении 1 : 1 : 1,5. Исходные компоненты смешивают, и полученную суспензию выдерживают на протяжении 2 суток, затем реакционную смесь нейтрализуют раствором серной кислоты [5]. Данный способ сложнее предыдущего рассмотренного и требует более токсичных реагентов, но именно он показал, высокие показатели диспергированности, а также повышение теплопроводности на 11,6 %, при концентрации функционализированных УНТ 0,05 массового процента.

Использование функционализированных УНТ дает возможность получения стабильных во времени модифицированных теплоносителей, что может значительно повысить эффективность как существующего, так и разрабатываемого теплообменного оборудования.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 075-03-2024-226/1 от 15.02.2024

### **Источники**

1. Туголуков Е.Н., Аль-Шариф А. Дж., Дьячкова Т.П., Буракова Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЖИДКОСТЕЙ // Вестник ТГТУ. 2019. №4.
2. Suri, A. The Superiority of Air Oxidation Over Liquid-Phase Oxidative Treatment in the Purification of Carbon Nanotubes / A. Suri, K. S. Coleman // Carbon. – 2011. – Vol. 49. – P. 3031 – 3038.
3. Морозов Александр Николаевич, Крюков Александр Юрьевич, Колесников Артем Владимирович, Десятов Андрей Викторович Функционализация углеродных нанотрубок // Успехи в химии и химической технологии. 2016. №1 (170).
4. Дьячкова Татьяна Петровна, Хан Юлиан Александрович, Орлова Наталья Вячеславовна, Кондрашов Станислав Владимирович Окисление

многослойных углеродных нанотрубок в парах перекиси водорода: закономерности и эффекты // Вестник ТГТУ. 2016. №2.

5. Abdolkarimi-Mahabadi A., Manteghian M. Chemical Oxidation of MultiWalled CarbonNanotube by Sodium Hypochlorite for ProductionofGraphene Oxide Nanosheets, Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures, 2015, vol. 23, no. 10, pp. 860-864

УДК 697.34

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАФИКОВ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ**

Токтарова Алина Александровна

Науч.рук. к.т.н., доцент Звонарева Юлия Николаевна

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

azayceva441@gmail.com

В современном мире проблема энергоэффективности становится все более актуальной. Одним из ключевых аспектов этой проблемы является рациональное использование энергии в системах теплоснабжения зданий. В этом контексте важным направлением становится использование пониженных температурных графиков в системах отопления, что позволит существенно сократить расход энергии при обогреве помещений, снизить технологические потери при транспортировке теплоносителя, тем самым сократить экономические показатели системы.

**Ключевые слова:** система теплоснабжения, температурный график, регулирование отпуска теплоты, энергоэффективность системы, качественное регулирование, количественное регулирование.

## **PRACTICAL APPLICATION OF REDUCED TEMPERATURE SCHEDULES OF HEATING SYSTEMS**

Toktarova Alina A.

Scientific advisor Zvonareva Yu.N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

azayceva441@gmail.com

In the modern world, the problem of energy efficiency is becoming increasingly urgent. One of the key aspects of this problem is the rational use of energy in heating systems of buildings. In this context, an important direction is the use of reduced temperature

schedules in heating systems, which will significantly reduce energy consumption when heating premises, reduce technological losses during coolant transportation, thereby reducing the economic performance of the system.

**Keywords:** heat supply system, temperature schedule, regulation of heat supply, energy efficiency of the system, qualitative regulation, quantitative regulation.

Централизованные системы теплоснабжения непрерывно развиваются, совершенствуя технологии, включая модернизацию и автоматизацию элементов. В последствии чего конец прошлого века стал началом оптимизации температурных режимов. В результате модернизации систем регулирования теплоснабжения произошел переход от прежнего качественного регулирования к новому, объединяющему как количественные, так и качественные методы регулирования отпуска тепловой энергии. Данный переход также сопровождался значительными отклонениями температуры сетевой воды в фактических графиках регулирования от проектных значений при низких температурах окружающего воздуха [1, 2].

Без сомнений, переход на низкотемпературные графики регулирования систем отопления стал вынужденной мерой. В условиях централизованной экономики, где требования к качеству теплоснабжения минимальны, стоимость энергоресурсов невысока, а также когда минимальные капитальные вложения и быстрые сроки строительства приоритетны, состояние тепловой сети, арматуры и компенсаторов могут значительно ухудшиться. Это также может привести к невозможности обеспечения необходимыми параметрами на тепловых источниках из-за состояния теплообменного оборудования [3].

В свою очередь эти изменения ярко проявились на системе теплоснабжения. Внедрение пониженного температурного графика, без должных обоснований и расчетов, повлекло за собой ряд серьезных последствий: разрегулированные системы теплоснабжения, ухудшение санитарно-гигиенических условий, снижение объемов подачи тепла потребителям по сравнению с договорными нагрузками. Однако в результате перерасчётов с учетом выявленных проблем, а также практического опыта удалось достичь оптимальных параметров для стабильной и качественной работы тепловой сети.

Вопреки значительному объему ремонтных работ, которые постоянно проводятся в тепловых сетях и на тепловых источниках, эта проблема остается актуальной и сегодня.

Тем не менее изменения, внесенные в температурный режим системы отопления повлекут за собой улучшение функционирования системы теплоснабжения. Тепловая энергия будет производиться на ТЭЦ без необходимости дополнительного нагрева, что приведет к снижению стоимости тепловой энергии. Активное использование пластиковых труб станет возможным, что приведет к увеличению срока эксплуатации трубопроводов и сокращению металлоемкости, а также объемов ремонтно-восстановительных работ. Станет возможным уменьшение расходов на обеспечение компенсационной мощности тепловой сети. Увеличится качество теплоснабжения, за счёт снабжения требуемого количества тепла, без избытка или недостатка, что поспособствует повышению комфорта и эффективности системы отопления. Сократятся расходы на увеличение диаметра трубопроводов для обеспечения необходимого давления и перепадов давления в тепловой сети. Повысится надежность системы теплоснабжения в случае вероятных аварийных изменений давления в тепловой сети [4].

В связи с вышеуказанными улучшениями был проведён сравнительный анализ годовой экономии топлива и общей доли экономии тепловой сети с учетом пониженных графиков отопления. Данные параметры выведены на диаграммы. Примером для проведения анализа послужил один из районов города Киров. В качестве типового графика сетевой воды был принят график 150/70. Примерами пониженных графиков были взяты 130/70 и 110/70 [5].

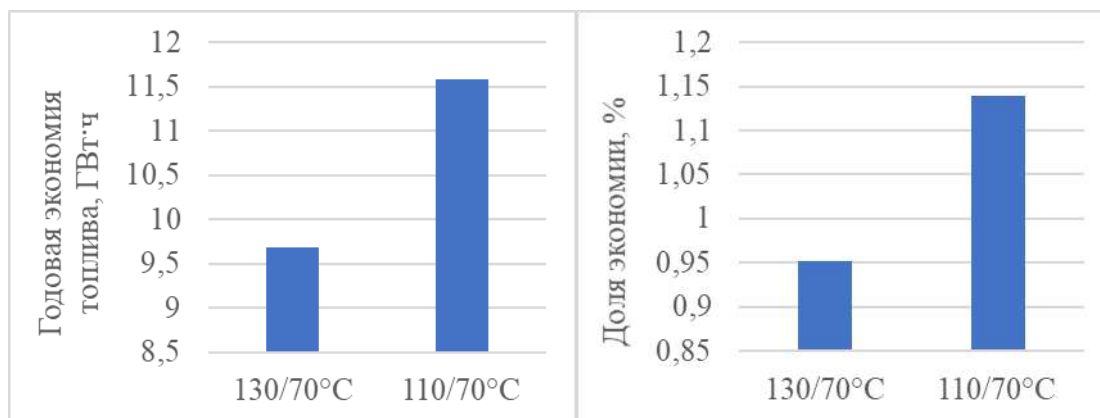


Рис. 1. Диаграммы годовой экономии топлива и доли экономии тепловой сети

Таким образом, основываясь на показателях, полученных в результате выполненных расчетов [5] можно сделать вывод, что и годовая экономия топлива, и общая доля экономии тепловой сети с учетом

пониженных графиков отопления являются выше, чем при использовании нормативного температурного графика. Следовательно, одним из перспективных направлений развития отечественного теплоснабжения является совершенствование технологий регулирования тепловой нагрузки путем перехода к низкотемпературному теплоснабжению.

### **Источники**

1. Седнин В. А., Седнин А. В., Богданович М. Л. Оптимизация параметров температурного графика отпуска теплоты в теплофикационных системах // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2009.
2. Яковлев Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения. – М.: Новости теплоснабжения, 2008. – 446 с.
3. Матухнова О. Д., Матухнов Т. А. Анализ снижения температурного графика системы отопления // International scientific review. 2020. №LXX.
4. Зиннатуллин Артур Рафаилович эффективность различных температурных графиков в теплоснабжении // Шаг в науку. 2023. №4.
5. Суворов Д.М., Татарина Н.В. эффективность работы тэц в системах теплоснабжения при переходе на пониженные и расширенные графики регулирования // Проблемы региональной энергетики. 2022. №3 (55).

УДК 681.178.1

### **СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО МЕСТА УТЕЧКИ**

Усанова Екатерина Андреевна<sup>1</sup>, Гаязова Земфира Ирековна<sup>2</sup>  
Науч. рук. кандидат технических наук Зиганшин Шамиль Гаязович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>usankate03@gmail.com, <sup>2</sup>zemfira.gayazova2000@yandex.ru

Моделирование расчета корреляционного метода течеискания позволяет проводить учебные занятия и демонстрировать методику расчета.

**Ключевые слова:** LabVIEW, трубопровод, утечки, модель, скорость.

## CREATING PROGRAM TO DETERMINE THE DISTANCE TO THE LEAK SITE

Usanova Ekaterina A.<sup>1</sup>, Gayazova Zemfira I.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ziganshin Sh.G.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>usankate03@gmail.com, <sup>2</sup>juna.rit.wow@yandex.ru

Simulation of the calculation of the correlation leak detection method allows for training sessions and demonstration of the calculation methodology.

**Keywords:** LabVIEW, pipeline, leaks, model, velocity.

Для определения расстояния до места утечки широкое применение находит акустический метод течеискания. Однако, данный метод имеет проблему с точностью определения, которая вызвана шумами и другими колебаниями в системе [1]. Для решения данной проблемы используется корреляционный метод [2].

Целью данной работы является создание программы для определения расстояния до места утечки с помощью акустического корреляционного метода течеискания.

Формула, которую вы описываете, используется для приблизительного расчета расстояния до места утечки в трубопроводе. Она выглядит следующим образом [3]:

$$D_{1,2} = \frac{L}{2} \pm V \cdot t,$$

где  $D_{1,2}$  - расстояние до места утечки,  $L$  - длина трубопровода,  $V$  - скорость распространения сигнала (например, скорость звука в жидкости),  $t$  - время задержки между отправкой сигнала и его возвращением от утечки [4].

Знак  $\pm$  используется в зависимости от того, куда движется сигнал: плюс, если он движется в направлении места утечки, и минус, если в противоположном направлении.

Эта формула предполагает, что сигнал распространяется равномерно в обоих направлениях от места отправки, а время задержки  $t$  измеряется между отправкой сигнала и его возвращением. Она основывается на принципе, что время задержки пропорционально расстоянию от места отправки до утечки.



Для создания модели использовалось программное обеспечение LabVIEW.

Порядок расчета расстояния до места утечки:

1. В качестве генератора сигнала используются два блока Simulate Signal, на которые приходят параметры фазы, смещения, амплитуды, частоты сигнала и шумов [5].

2. Блок Convolution and Correlation проводит кросс-корреляцию сгенерированных сигналов от первого и второго Simulate Signal, результатом которой является массив данных.

3. Определяется время до максимального пика с использованием функций для анализа массива:

$$\text{Время до макс. пика} = \frac{\text{Время прохождения звука по трубопроводу}}{\text{Количество ячеек массива}} \times \\ \times \text{Индекс ячейки максимального значения в массиве.}$$

4. По формуле, записанной при помощи математических функций, определяется расстояние до места утечки.

Таким образом, была создана программа для определения расстояния до места утечки с использованием корреляционного метода течеискания.

### 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. Корреляционный метод поиска утечек жидкостей из трубопроводов под давлением [Электронный ресурс]. <http://vibration.ru/tech/tech.shtml> (дата обращения: 25.02.24).

4. Мельников Е.В., Теплов Е.С. Система тестирования корреляционных течеискателей // Информационно-измерительные и управляющие системы. Самара. 2020. № 18.

5. 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.

УДК 66.021.1

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКА ГАЗА ЧЕРЕЗ УПЛОТНЕННЫЙ СЛОЙ В ТРУБЕ: ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ГРАНУЛ**

Шадымов Никита Алексеевич

Науч. рук. к.т.н., доцент Пащенко Дмитрий Иванович

ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара

nik.lukov63@gmail.com

В работе проведено исследование потока газа, проходящего внутри трубы через уплотненный слой гранул с различными значениями шероховатости с помощью экспериментального метода. Представлены результаты расчета влияния шероховатости гранул уплотненного слоя на характеристики потока экспериментальным и численным методами. Был предложен новый коэффициент корреляции для уравнения Эргуна, учитывающий шероховатость гранул.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, Ansys Fluent, уплотненный слой, катализаторы.

## **STUDY OF THE GAS FLOW THROUGH THE PACKED BED IN THE PIPE: EFFECT OF CATALYST ROUGHNESS**

Shadymov Nikita A.

Scientific advisor Pashchenko D.I.

SSTU, Samara

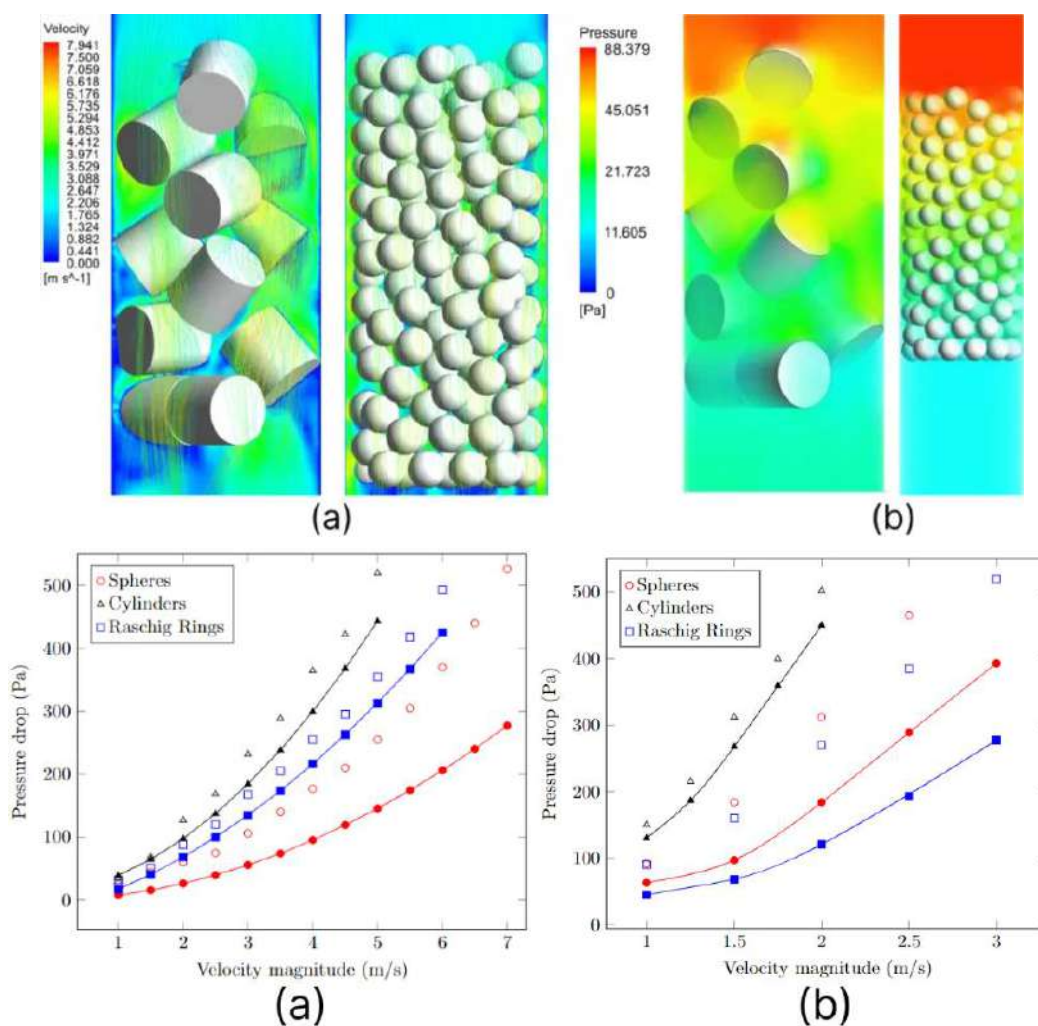
nik.lukov63@gmail.com

The paper investigates the gas flow passing inside the pipe through a compacted layer of catalysts with different roughness values using an experimental method. The results of calculating the effect of catalyst roughness on flow characteristics by experimental and numerical methods are presented. A new correlation coefficient for the Ergun equation has been proposed, taking into account the roughness of the granules.

**Keywords:** computer modeling, Ansys Fluent, compacted layer, catalysts.

Уплотненные слои широко используются во многих отраслях промышленности, таких как энергетика, химическое машиностроение и

транспорт. Прогноз параметров потока жидкости является важной задачей при проектировании агрегатов с уплотненным слоем. В этом исследовании были экспериментально и численно исследованы уплотненные слои, заполненные сферическими, цилиндрическими частицами и кольцами Рашига, чтобы оценить влияние шероховатости гранул на параметры потока жидкости.



Численное исследование

Параметры уплотненного слоя варьировались следующим образом: шероховатость гранул составляла 0,001–20 мкм; скорость потока 1-10 м/с; соотношение диаметра трубы к диаметру гранулы 2,9 и 4,8; длина уплотненного слоя 50-250 мм. Было установлено, что перепад давления зависит от шероховатости гранул. Как численные, так и экспериментальные результаты показали, что большое отклонение между эмпирическими и экспериментальными данными вызвано шероховатостью гранул [1, 2]. По этой причине был предложен новый коэффициент корреляции К для уравнения Эргуна, учитывающий шероховатость гранул [3]. Коэффициент корреляции К обеспечивает хорошую корреляцию

между перепадами давления, рассчитанными с помощью модифицированного уравнения Эргуна, и экспериментальными/численными данными для широкого диапазона эксплуатационных и проектных параметров.

### **Источники**

1. S. Singh and J. Rautela, Numerical study of packed bed thermal energy storage with natural sandstone rock as a filler material // AIP Conf. Proc. 2023. Т. 2863. С. 20008.
2. D. Pashchenko, I. Karpilov, and R. Mustafin, Numerical calculation with experimental validation of pressure drop in a fixed-bed reactor filled with the porous elements // AIChE Journal. 2020. Т. 66. С. 16973.
3. S. Ergun, Fluid flow through packed columns // Chem. Eng. Prog. 1952. Т. 48. С. 89.

УДК 620.92

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РЕЖИМА ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРА ТЕПЛА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА**

Шарафиев Дмитрий Евгеньевич<sup>1</sup>, Тимершин Азат Робертович<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ваньков Юрий Витальевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>vip.sharafiev00@mail.ru, <sup>2</sup>timer.az@mail.ru

В данной статье произведен сравнительный анализ процесса заряда аккумулятора тепла фазового перехода на основании проведенных серий экспериментов на лабораторном стенде. В ходе экспериментов были сделаны выводы и выделен наиболее эффективный вариант движения теплоносителя внутри конструкции аккумулятора тепла.

**Ключевые слова:** фазовый переход, аккумулялирование тепловой энергии, энергосбережение, исследование заряда аккумулятора тепла.

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROCESS OF THE BATTERY CHARGE MODE OF THE PHASE TRANSITION HEAT**

Sharafiev Dmitry E.<sup>1</sup>, Timershin Azat R.<sup>2</sup>

Scientific Advisor Vankov Yu.V.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>vip.sharafiev00@mail.ru, <sup>2</sup>timer.az@mail.ru

This article provides a comparative analysis of the process of charging the phase transition heat accumulator based on a series of experiments conducted on a laboratory bench. During the experiments, conclusions were drawn and the most effective variant of the movement of the coolant inside the design of the heat accumulator was identified.

**Keywords:** phase transition, accumulation of thermal energy, energy saving, study of the charge of the heat accumulator.

Цель исследования аккумуляторов тепла фазового перехода (АТФП) в первую очередь связана с интенсификацией теплообмена между теплоносителем и рабочим телом аккумулятора тепла, которым был выбран парафин [1, 2].

В экономическом плане парафин был выбран по причинам нахождения его в открытом доступе, а также он имеет низкую цену для закупки. Если рассматривать парафин с теплофизической и химической точки зрения, то можно выделить его подходящую скрытую теплоту, отсутствие химической активности с различного рода металлами, устойчивость к постоянным циклам плавления и затвердевания [3].

Основная задача исследования - определить оптимальный, с точки зрения минимального времени, способ проведения заряда АТФП.

Под зарядом АТФП понимается время, которое будет необходимо для установления нулевой разницы температур теплоносителя, циркулирующего по контуру стенда, на входе и выходе из теплообменника аккумулятора тепла. Нагрев теплоносителя - воды, поддерживается электрическим котлом марки Эван.

Для сравнения были выбраны способ заряда АТФП «сверху-вниз» и «снизу-вверх» [4]. Схема движения воды при каждом из способов представлены на рисунке 1.

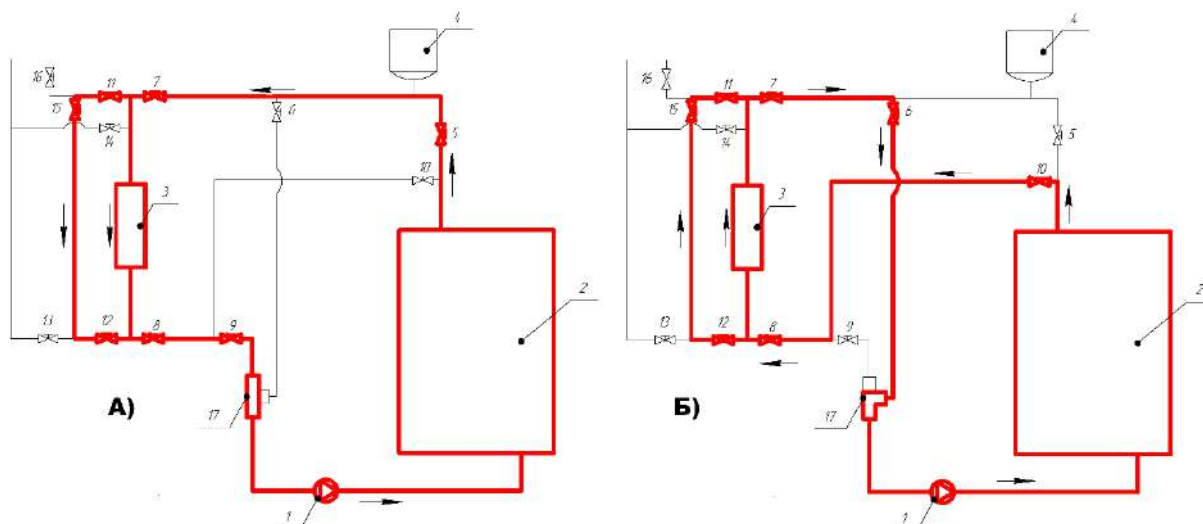


Рис.1. - Схема движения теплоносителя

А) - сверху-снизу, Б) - снизу-вверх

1 - насос, 2 - электрический котел, 3 - аккумулятор тепла, 4 - расширительный бак,  
5-16 - кран шаровый, 17 - тройник.

Проведенный анализ двух способов проведения заряда аккумулятора показал, что процесс перехода парафина из твердого состояние в расплавленное, вне зависимости от направления движения потока теплоносителя через аккумулятор тепла, остается неизменным. Среднее время полного перехода в жидкую фазу составило 1 час 57 минут.

Не смотря на равное время фазопереходного процесса время полного заряда аккумулятора различно. В случае движения теплоносителя сверху-вниз среднее время полного процесса составило 3 часа и 6 минут, в то время как процесс заряда по схеме «снизу-вверх» занял в среднем порядка 4 часов и 39 минут. В первую очередь это связано с распределением температурного поля внутри самого аккумулятора тепла. Жидкая фаза на протяжении всего эксперимента находится выше, чем кристаллизованный парафин, тем самым при движении теплоносителя сверху-вниз часть тепла отдается на поддержание постоянной температуры жидкого парафина. Далее теплоноситель и жидкая фаза парафина воздействуют на твердую фазу одновременно из-за чего процесс накопления энергии ускоряется.

В случае заряда АТФП по схеме «снизу-вверх» теплоноситель сначала отдает тепло твердой фазе, а жидкая фаза, образовавшаяся при плавлении парафина, воздействует на твердую фазу уже с меньшей температурой. Тем самым при полном плавлении рабочего тела, температура, установившаяся внутри АТФП, меньше, чем при заряде предыдущим способом.

Исследования выполнены по государственному заданию с номером соглашения 075-03-2024-226/1 от 15.02.2024.

### **Источники**

1. Razmat Makhmudov Mirzo Ulugbek, Samarkand Shavkat. Experimental technique for a heat storage model with a phase transition of substance // Universum. - 2021. - №5. - 5 p.
2. Спицын И.А. Орехов А.А. Чушкин М.В. Тепловой аккумулятор фазового перехода // Агроинженерия. - 2008. - с. 52-53.
3. Э.В. Котенко, Е.В. Умеренков, В.И. Котенко. Экологические аспекты использования аккумуляторов теплоты // Серия Техника и технологии - № 3. - 2013. - с. 111-113.
4. Шарафиев Д.Е., Тимершин А.Р. Установка для изучения теплоаккумулирующих свойств веществ с фазовым переходом // XXVII Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика и 55-летию КГЭУ/ Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2023. – т. 3 - с. 214-216

УДК 004.89

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Юровская Валерия Дмитриевна<sup>1</sup>, Дроздов Николай Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. ст. преп. Латушкина Светлана Викторовна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск, Россия

<sup>1</sup>valeriya.yurovskaya@mail.ru, <sup>2</sup>nndroz dov@mail.ru

В статье рассмотрена возможность использования селекторов и предикторов на базе искусственных нейронных сетей (ИНС) в теплоэнергетике с целью повышения эффективности работы теплоэлектростанции (ТЭС) посредством выявления дефектов основного и вспомогательного оборудования теплоэлектростанций.

**Ключевые слова:** нейросеть, искусственные нейронные сети (ИНС), неразрушающие методы контроля, оптимизация режимов работы, техническая диагностика.

# PROSPECTS FOR APPLYING A NEURAL NETWORK TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THERMAL POWER PLANT EQUIPMENT

Yurovskaya Valeriya D.<sup>1</sup>, Drozdov Nikolay N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Latushkina S.V.

<sup>1,2</sup>Bratsk State University, Bratsk, Russia

<sup>1</sup>valeriya.yurovskaya@mail.ru, <sup>2</sup>nndrozdov@mail.ru

The article discusses the possibility of using selectors and predictors based on artificial neural networks (ANN) in thermal power engineering in order to increase the efficiency of a thermal power plant (TPP) by identifying defects in the main and auxiliary equipment of thermal power plants.

**Keywords:** neural network, artificial neural networks (ANN), non-destructive testing methods, optimization of operating modes, technical diagnostics.

В условиях эксплуатации тепломеханическое оборудование тепловых электростанций (ТЭС) подвергается различным внешним и внутренним воздействиям, в результате чего происходит деградация материала, коррозионные повреждения, возникают и развиваются трещины усталости на поверхностях нагрева и другие виды дефектов. Во избежание последствий развития дефектов, на оборудовании проводится контроль металла различными методами (разрушающими и неразрушающими). Вне зависимости от метода, проведение контроля оборудовании требует вывода объекта из эксплуатации и обеспечения условий для проведения его обследования. Данные мероприятия сопряжены с административными издержками.

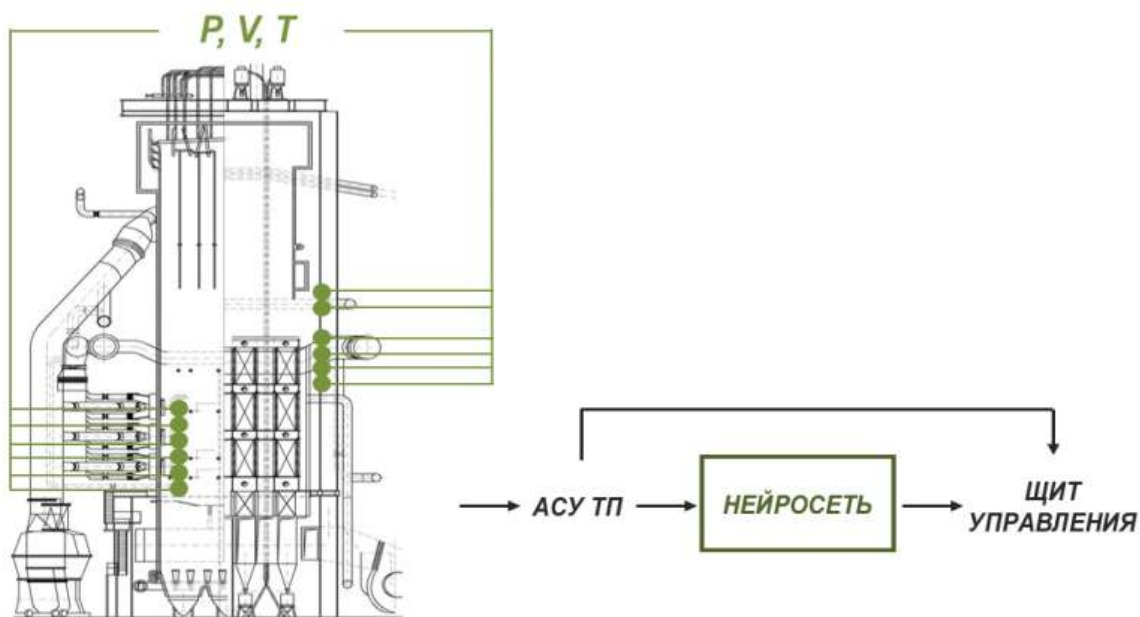
По этой причине актуальна проблема выявления и локализации возможных дефектов уже в процессе эксплуатации. Наиболее явными показателями, информирующими о состоянии оборудования в процессе его эксплуатации, используемыми и в предиктивной аналитике [1], являются эксплуатационные параметры оборудования. Показания параметров зависят от конструкции оборудования и условий эксплуатации. В зависимости от требуемого режима работы объекта, параметры имеют диапазон ожидаемых значений, отклонение от которых позволяют идентифицировать сбой как статистическую аномалию. При наличии дополнительных данных о состоянии объекта (температура поверхности, ее градиент, параметры вибрации), можно не только установить факт



наличия развивающегося дефекта, но и, с некоторой точностью, локализовать дефектный участок.

Инструментом обработки как числовых и графических данных могут служить искусственные нейронные сети (ИНС), в частности, нейронная сеть Хопфилда [2].

Предлагаемая схема внедрения ИНС в работу ТЭС представлена на рисунке.



Предлагаемая схема внедрения ИНС в работу ТЭС

Эксплуатационные параметры (давление  $P$ , расход  $V$ , температура  $T$ ), считываемые автоматической системой управления технологическим процессом (АСУ ТП) преобразуются в числовой формат и поступают в матричном виде на ИНС. Далее происходит оценка принадлежности совокупности данных той или иной заданной группе. Помимо селекторов, существуют и ИНС – предикторы, способные предсказывать поведение тепломеханического оборудования по снимаемым с него показателям [3].

Для проверки работоспособности селективной функции ИНС, был построен селектор изображений на языке Python. Нейросеть конструировалась при помощи готовых инструментов для работы с ИНС, такими как библиотека Tensorflow и модуль Keras. Селектор представлял собой двухслойную ИНС. Первый слой состоял из 128 нейронов, с выпрямленной линейной функцией активации[4]. Выходной слой состоял из 4 нейронов по числу групп изображений. Функция активации –

многопеременная логистическая функция. Оптимизация модели проводилась методом стохастического градиентного спуска. Функцией ошибки была выбрана категориальная перекрестная энтропия.

Сортировка позволяет при оценке состояния промышленного оборудования определить дефектный участок объекта контроля и характер дефекта. Данный принцип, в силу единообразия данных, поступающих на входной слой ИНС, может использовать и эксплуатационные параметры оборудования с целью отнесения текущего режима эксплуатации к той или иной группе риска. Располагая информацией об остановах, дефектах и иных нежелательных эффектах, и происшествиях в совокупности с эксплуатационными характеристиками, ИНС способна предсказывать не только поведение отдельных параметров, таких как выходная мощность [3], но и такие происшествия, как отказы, исходя из истории снимаемых данных, информации о случившихся событиях и состоянии оборудования в промежутке до и после события.

Таким образом, внедрение нейросетей в работу ТЭС способно повысить эффективность управления станцией: способствует сокращению времени простоя оборудования, снижению затрат на закупку запчастей, уменьшению количества аварийных ситуаций, снижению финансовых затрат вследствие недоотпуска энергии и уменьшению общего числа отказов оборудования.

На данный момент не существует подходящего набора данных для обучения нейросетей распознаванию угроз в различных подсистемах энергетических объектов, что требует дальнейших исследований в этой области.

### **Источники**

1. Smrekar, Jure & Pandit, D. & Fast, M. & Assadi, Mohsen & De, Sudipta. (2010). Prediction of power output of a coal-fired power plant by artificial neural network. *Neural Computing and Applications*. 19. 725-740. 10.1007/s00521-009-0331-6.

2. Бобрикова К.А., Павлова А.И. Применение сети Хопфилда в качестве инструмента распознавания образов [Текст] // *Современные материалы, техника и технологии: научно-практический журнал*, №1(4), 2016, 44-49.

3. Elfaki, E.A. and Ahmed, A.H. (2018) Prediction of Electrical Output Power of Combined Cycle Power Plant Using Regression ANN Model.

Journal of Power and Energy Engineering, 6, 17-38.  
<https://doi.org/10.4236/jpee.2018.612002>

4. Соснин, А. С. Функции активации нейросети: СИГМОИДА, ЛИНЕЙНАЯ, СТУПЕНЧАТАЯ, RELU, ТАНН / А. С. Соснин, И. А. Сулова // Наука. Информатизация. Технологии. Образование: материалы XII международной научно-практической конференции, г. Екатеринбург, 25 февраля - 1 марта 2019 г. - Екатеринбург: Издательство РГППУ, 2019. - С. 237-246.

### Секция 3. Энергетическое машиностроение

УДК 681.5.01

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСИТЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ГТУ

Абрамов Вадим Андреевич<sup>1</sup>, Смышляев Михаил Олегович<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. Марьин Георгий Евгеньевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>abramovbadim@gmail.com, <sup>2</sup>mishka.sms@gmail.com

В работе рассматривается применение информационных приборов в системах наблюдения. Обозначена идея электросетевой инфраструктуры, которая предлагает пользователю урегулировать электроэнергетические процессы газотурбинных установок (ГТУ) с учетом предложенных требований контроля «умными» приборами. Выделены функции, может выполнять данный комплекс, основанный на применении блоков наблюдения АСКУЭ (система комплексного учета энергопотребления).

**Ключевые слова:** системы управления; искусственный интеллект; «умные» приборы; оптимизация работы; эффективность работы.

## USING NEURAL SYSTEMS FOR CONTROL OF ENERGY- SATURATED GTUS

Abramov Vadim A.<sup>1</sup>, Smushliev Mixail O.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Marin George E.  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>abramovbadim@gmail.com, <sup>2</sup>mishka.sms@gmail.com

The paper discusses the use of information devices in surveillance systems. The idea of an electrical grid infrastructure is outlined, which invites the user to regulate the electrical power processes of gas turbine units (GTU), taking into account the proposed control requirements with “smart” devices. The functions that can be performed by this complex, based on the use of ASKUE monitoring units (system for integrated accounting of energy consumption), are highlighted.

**Keywords:** management systems; artificial intelligence; digital twin; optimization of work; algorithms of work.

В энергетике для обслуживания энергонасыщенных ГТУ широко используется искусственный интеллект (ИИ).

Например, такая идея как цифровой подстанции – «Smart Grid», известный вариант внедрения ИИ с задачей управления некоторыми производственными процессами. Smart Grid (модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети) – создала план, направленный на цифровизацию процессов логистики, которая позволит улучшить порядок снабжения энергией и потребления. Предложение основана на применении стандарта МЭК 61850, что подразумевает унификацию потоков материалов, данных о потребителях, это позволило более подробно направить информацию для будущей обработки и подсчёта затрат [1].

Цифровые прототипы позволяют рассчитывать общую оценку работы предприятия и направлять текущие процессы в производстве. Самыми известными структурами для цифровых двойников являются: BigData – «Большие данные» и Industrial Internet of Things – «Индустриальный интернет вещей». В нейросетях может накапливаться и распределяться информация о сбоях в работе ГТУ, и у руководителя появляется возможность найти зону появления неисправности (помехи, механические повреждения), переделать нагрузку для подачи в систему обслуживания ГТУ. Грамотное понимание предпосылок проектирования, их анализ позволяет создавать оптимальные технологические процессы. В анализ исходных данных входит получение информации о работе турбины, определение конструкции детали, основных требований к детали и тому подобное. Целью анализа исходных данных в любом случае будет получение некоторой технологической модели детали, описывающей геометрию, взаиморасположение поверхностей, их точность, качество и общие сведения [2].

Сбор данных большого объема сопряжен с некоторыми трудностями, т.к. они приходят от различных систем более низкого уровня, систем SCADA (диспетчерское управление и сбор данных) или АСКУЭ, или более высокого уровня, PLM, MES, EAM. Разные данные остаются неоднородными, имеют различающиеся типы, структуру передачи и способы хранения. Конструкции предиктивной аналитики на основе используемых данных и экспертных знаний обустроивает определение технического состояния турбины, различных показателей и трендов, их изменения и анализ, а также конструирование происходящих в турбине процессов.

Используемая иерархическая схема, основанная на особенностях конструкций и моделирования сложных процессов нейросети. При применении нейросетей и ИИ можно увеличить эффективность выявления неисправностей или чрезвычайных режимов ГТУ, обеспечивать наиболее правильных действий для решения срочных и текущих задач с учетом имеющихся набора информации и мощностей [3]. Используя имеющиеся данные, руководитель проводит оценку состояния работы турбины

При использовании нейросетей решаются задачи: верификации топологии электрических сетей (ЭС), разложения интегральных профилей потребления на профили отдельных турбинных установок, оценка эффективности работ энергосетей [4] и т.п. Современные информационные технологии давно идут по пути применения во всех сферах деятельности методов, позволяющих решать задачи с позиций логики человека. Данные методы известны под общим название нейросети.

Нами определено, что применение данных методов в сочетании с одной из методик описание конструкции позволит автоматизировать процесс описания турбины и получить требуемую технологическую модель установки.

«Умные» нейросети имеют значительный потенциал применения в интеллектуальном управлении ГТУ на базе нейросети [5]. Уже сейчас они позволяют решать ряд задач с ошибкой порядка 10%, что считается достаточным для многих практических целей.

### **Источники**

1. Ковалев, С.П. Применение нейронных сетей глубокого обучения в математическом обеспечении цифровых двойников электроэнергетических систем / С. П. Ковалев // Системы и средства информатики. – 2021. – Т. 31, № 1. – С. 133-144. – DOI 10.14357/08696527210111.

2. Bi Z.M., Cochran D.S. Big data analytics with applications // Journal of Management Analytics. 2014. Vol. 1, No. 4. P. 249–265.

3. Шилкин Д.В., Маслова Г.Д., Возможности интеллектуальных приборов учета в борьбе с хищениями электроэнергии. // Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. В 6-ти томах. г. Иваново, 2022. С. 13.

4. Маслов И.Н., Халиева А.М., Файзуллина Г.И., Расчет экономического эффекта от внедрения интеллектуальных приборов учета электроэнергии // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской

научно-практической конференции с международным участием. 2021. С. 263-266.

5. Maslov I., Khaliyeva A., Baranov A.B. Development of automated information-measuring systems for electric power measurement. // Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021. 2021. С. 53-57.

УДК 621.921.620.178.16.

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИЛИКАТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИЗНОСА В ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТУРБИНАХ**

Аксакова Зарина Фаритовна<sup>1</sup>, Герюгова Алиса Артуровна<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. Марьин Евгений Георгиевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>aksakovazarina@gmail.com, <sup>2</sup>gerugasha@mail.ru

В данной статье показано применение силикатных покрытий для защиты от износа в гидравлических турбинах. Рассмотрены основные свойства и преимущества данных покрытий, а также методы их нанесения на поверхность турбин. Также представлен обзор современных исследований и практических примеров использования силикатных покрытий в данной области.

**Ключевые слова:** гидравлические турбины, инженерные системы, потенциальная энергия, силикатные покрытия, защита от износа.

## **THE USE OF SILICATE COATINGS TO PROTECT AGAINST WEAR IN HYDRAULIC TURBINES**

Aksakova Zarina F.<sup>1</sup>, Geryugova Alisa A.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Marin George E.  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Russia Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>aksakovazarina@gmail.com, <sup>2</sup>gerugasha@mail.ru

This article shows the use of silicate coatings to protect against wear in hydraulic turbines. The main properties and advantages of these coatings, as well as methods of their application to the surface of turbines, are considered. An overview of current research and practical examples of the use of silicate coatings in this field is also presented.

**Keywords:** hydraulic turbines, engineering systems, potential energy, silicate coatings, wear protection.

Силикатные покрытия широко применяются в гидравлических турбинах для защиты от износа. Они обладают рядом основных свойств, которые делают их эффективными в этом контексте [1]. Во-первых, силикатные покрытия имеют высокую твердость, что позволяет им противостоять абразивным материалам, таким как песок или гравий, которые часто присутствуют в гидравлической среде. Во-вторых, они обладают хорошей адгезией, что гарантирует их прочное сцепление с поверхностью турбины, предотвращая отслоение покрытия и дальнейший износ. Кроме того, силикатные покрытия обладают высокой химической стабильностью и устойчивостью к коррозии, что обеспечивает долговечность и надежность защиты турбины [2,3]. И, наконец, они обладают превосходными теплоотводящими свойствами, что позволяет предотвратить перегрев и повреждения поверхности.

Существует несколько методов нанесения силикатных покрытий на поверхности гидравлических турбин для защиты от износа. Один из них - метод напыления, при котором силикатная смесь распыляется на поверхность турбины при помощи специального оборудования. Этот метод обеспечивает равномерное и тонкое покрытие, которое образует прочную защитную пленку.

Еще один метод – погружение турбины в ванну с силикатным составом. При этом процессе турбина окунается в состав на некоторое время, в результате чего на поверхности образуется плотное и прочное покрытие. Этот метод особенно эффективен для турбин с сложным геометрическим профилем, которые трудно покрыть методом напыления.

Также существует метод рассеивания силиката в воду, которая подается на поверхность турбины [4]. В результате взаимодействия силиката с поверхностью образуется защитное покрытие, которое препятствует износу.

Исследования эффективности силикатных покрытий в защите гидравлических турбин от износа показали значительные положительные результаты. Применение таких покрытий позволяет увеличить срок службы турбин на 30-40%, снизить трение и износ поверхностей, а также улучшить гидродинамические характеристики оборудования [5].

В ходе научных экспериментов было установлено, что силикатные покрытия образуют на поверхностях турбин твердую прочную пленку, которая защищает их от механического воздействия, коррозии и воздействия агрессивных сред. Это позволяет существенно снизить



эксплуатационные издержки и обеспечить надежность работы оборудования.

Кроме того, использование силикатных покрытий повышает эффективность работы гидравлических турбин [6]. Благодаря уменьшению трения и сопротивления воды, увеличивается пропускная способность турбин и повышается их энергетическая эффективность.

Перспективы применения силикатных покрытий в данной области достаточно обширны. Они могут использоваться не только для турбин нового производства, но и для ремонта и обновления уже существующих установок [7]. Силикатные покрытия обладают хорошей адгезией к различным материалам, что позволяет эффективно защищать как металлические, так и неметаллические детали гидравлических турбин.

Нами изучен вопрос защиты деталей с помощью силикатных покрытий. Как мы выяснили, это перспективное направление изготовления гидравлических турбин. Силикатные покрытия обладают низким коэффициентом трения, что способствует снижению энергопотребления турбины и повышает ее эффективность.

### **Источники**

1. Смолеговский А.М. Развитие представлений о структуре силикатов. М.: Наука, 1979. 231 с.

2. Барзаковский В.П., Добротин Р.Б. Труды Д.И. Менделеева в области химии силикатов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 217 с.

3. Кузьмин С.В. Материалы, используемые в лопатках газовых турбин // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук. Сборник докладов Национальной конференции с международным участием. Белгород, 2022. С. 304-306.

4. Дюндина В.П. Повышение качества силикатных материалов // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Белгород, 2023. С. 70-72.

5. Калимуллина И.И., Шайхутдинова А.М. О влиянии трения в шарнирах на работу гусеничных движителей // В сборнике: Стратегии развития и совершенствования науки и образования в новой реальности. Материалы XXVI Всероссийской научно-практической конференции. Краснодар, 2023. С. 151-152.

6. Сабиров Р.И., Маслов И.Н. Сухое трение в примере Пэнлеве-Клейна // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова. Сборник докладов. Белгород, 2023. С. 295-297.

7. Садриев Р.Р., Шавалеев Б.Д., Седой Р.Д. Использование газотурбинного двигателя в автомобилях // В сборнике: Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2023. С. 756-758.

УДК 62-25

## **ПРОЧНОСТЬ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСТЯГИВАЮЩИХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ ИНЕРЦИИ С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ СВЯЗЕЙ**

Алтынбаев Руслан Линарович<sup>1</sup>, Клейдман Ольга Владимировна<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Хакимуллина Лариса Шарифовна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>rus.alt.10@mail.ru, <sup>2</sup>olgakdpm@mail.ru

В работе представлены результаты расчёта напряжений по длине лопатки при вращении под действием центробежных сил без связей, с бандажом и проволокой, а также коэффициента запаса по статической прочности при использовании лопатки из стали и титана.

**Ключевые слова:** лопатки турбин, напряжения, бандаж, угловая скорость, растяжение, запас прочности, титан.

## **STRENGTH OF TURBOMACHINE BLADES UNDER THE INFLUENCE OF TENSIENT CENTRIFUGAL FORCES OF INERTIA TAKEN INTO ACCOUNT OF THE INFLUENCE OF CONNECTIONS**

Altynbaev Ruslan L.<sup>1</sup>, Kleidman Olga V.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Khakimullina Larisa Sh.  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>rus.alt.10@mai.ru, <sup>2</sup>olgakdpm@mail.ru

The paper presents the results of calculating the stresses along the length of the blade during rotation under the influence of centrifugal forces without connections, with a bandage

and wire, as well as the safety factor for static strength when using a blade made of steel and titanium.

**Keywords:** turbine blades, stress, bandage, angular velocity, stretching, safety margin, titanium

Эффективное совершенствование основных элементов турбоустановок и улучшение методов расчета их прочности и надежности играют ключевую роль в развитии энергетики [1-4]. Важно постоянно совершенствовать технические характеристики лопаток турбомашин для повышения эффективности процессов производства энергии и обеспечения стабильной работы энергетических систем.

В работе рассматривается действие стационарных и медленно меняющихся центробежных усилий вращения, вызывающих упругие напряжения и деформации лопаток, с целью построения эпюр растягивающих напряжений по высоте рабочей лопатки без связей, с бандажом и проволокой, оценивается коэффициент запаса по статической прочности при использовании разных материалов лопатки.

Для исходных данных: средний диаметр ступени турбины  $d_c = 1,33$  м; длина лопатки постоянного поперечного сечения  $\ell = 0,23$  м; угловая скорость  $\omega = 314$  рад/с; плотность материала лопатки  $\rho = 7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, напряжение в любом сечении определяется [5] согласно (1):

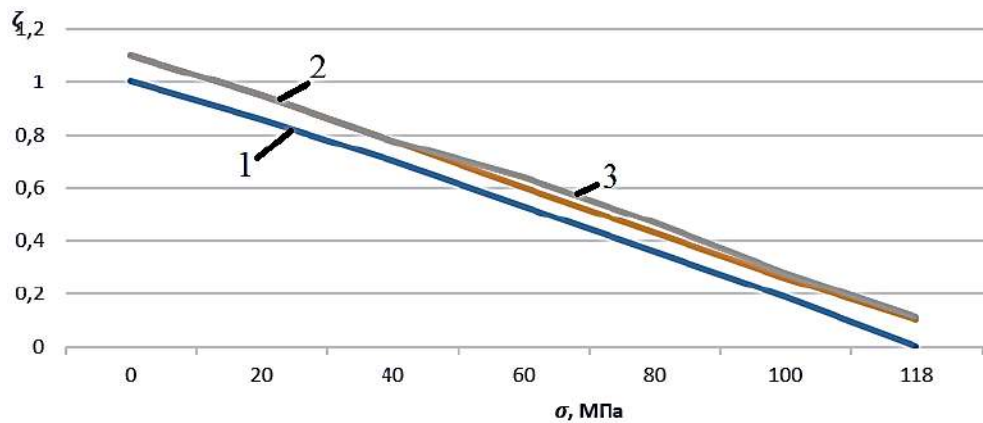
$$\sigma = \sigma_0(1 - \zeta)(1 + \zeta / \nu), \quad (1)$$

где  $\zeta = z / \ell$  ( $z$  - координата, отсчитываемая от корневого сечения), обратная веерность рабочего венца  $\nu = d_c / \ell = 1,33 / 0,23 = 5,78$ .

Напряжение в корневом сечении [5]:

$$\sigma_{p0} = 0,5 \rho \omega^2 d_c \ell = 0,5 \cdot 7800 \cdot 314^2 \cdot 1,33 \cdot 0,23 = 1,176 \cdot 10^8 \text{ Па} = 117,6 \text{ МПа}.$$

Расчет напряжений по (1) сведен в таблицу, по его результатам построена кривая 1 (см. рисунок). Из-за наличия бандажа, выполненного из стальной ленты и установленного в периферийной зоне лопатки, по всей её длине центробежные силы будут вызывать дополнительные растягивающие напряжения  $\Delta \sigma_0 = 11,7$  МПа, и распределение напряжений примет вид, показанный кривой 2 (см. рисунок).



Изменение растягивающих напряжений в рабочей лопатке: 1-без связей; 2 – с бандажом; 3 – с бандажом и проволокой

Из-за наличия на расстоянии  $2/3$  длины от корневого сечения титановой проволоки на всей длине лопатки ниже проволоки будут действовать добавочные напряжения  $\Delta\sigma_d = 1.3$  МПа. Применяют часто проволоку из титановых сплавов для снижения дополнительных напряжений, вызываемых связями.

Итоговое распределение растягивающих напряжений в лопатке со связями показано кривой 3 (см. рисунок). Дополнительные напряжения зависят от плотности материала бандажа и проволоки, площади их поперечного сечения, шага лопаток по окружности их установки, координат центра их поперечного сечения, угловой скорости. Бандаж и проволока повышают вибрационную надёжность лопаточного аппарата.

Проведён дополнительно анализ, как изменится коэффициент запаса по статической прочности, если титановую ( $\sigma_{0.2}^T = 800$  МПа;  $\rho_T = 4,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>) рабочую лопатку последней ступени таких же размеров выполнить из стали с  $\sigma_{0.2}^{CT} = 700$  МПа и  $\rho_{CT} = 7,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Так как напряжение [5] в рабочей лопатке  $\sigma = 0,5k\rho\omega^2 d_c \ell$ , то отношение коэффициентов запаса  $n_s^T$  для лопаток из титана и  $n_s^{CT}$  из стали:

$$\frac{n_s^T}{n_s^{CT}} = \frac{\sigma_{0.2}^T \cdot \rho_{CT}}{\sigma_{0.2}^{CT} \cdot \rho_T} = \frac{800 \cdot 7800}{700 \cdot 4500} = 1,98.$$

### Источники

1. Лаптев С. А. Анализ возможных структур вихревого газожидкостного потока в аппарате и получение обобщенных

зависимостей // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 12-2. С. 132-139.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Титов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Альтернативная энергетика и экология: Междунар. науч. журнал. – 2023. – № 1(406). – С. 23-35.

3. Ютанова А.А., Клейдман М.Д. Анализ НДС на основе МКЭ цельнокованого ротора турбины при действии эксплуатационных нагрузок с учётом дефектов в осевом канале // XXVI Всерос. аспирант.-магистр. науч. сем-р, посвящ. дню энергетика: матер. докл., Казань, 2022. Том 2. С. 184-187.

4. Лаптев С. А. Характеристики вихревых контактных устройств с регулируемыми геометрическими параметрами // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2019. Т. 10. С. 39-42.

5. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин: учебник / Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. - 472 с.

УДК 621.182

## СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПРИ РАБОТЕ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Антонов Виктор Дмитриевич<sup>1</sup>, Гарипов Камиль Рустамович<sup>2</sup>,  
Клейн Евгений Васильевич<sup>3</sup>.

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>Vitya.antonov.2004@outlook.com, <sup>2</sup>kamilgaripov24@gmail.com, <sup>3</sup>zombee1997@mail.ru.

В данной научной статье рассматривается проблема снижения выбросов при работе котельного агрегата. Анализируются различные факторы, влияющие на объем выбросов. Представлены методы снижения выбросов, включая использование более экологичного топлива, оптимизацию процессов горения и модернизацию котельного оборудования. Особое внимание уделяется анализу результатов применения данных методов на практике, а также оценке их экономической эффективности и влияния на окружающую среду. Таким образом, данная научная статья является актуальным и важным исследованием, направленным на поиск эффективных решений для снижения негативного воздействия котельных агрегатов на окружающую среду и здоровье человека.

**Ключевые слова:** котельный агрегат, топливо, выбросы, оптимизация, загрязнение окружающей среды.

# REDUCTION OF EMISSIONS DURING OPERATION OF THE BOILER UNIT

Antonov Victor D.<sup>1</sup>, Garipov Kamil R.<sup>2</sup>, Klein Evgeny V.<sup>3</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>Vitya.antonov.2004@outlook.com, <sup>2</sup>kamilgaripov24@gmail.com, <sup>3</sup>zombie1997@mail.ru.

This scientific article discusses the problem of reducing emissions during operation of a boiler unit. Various factors influencing the volume of emissions are analyzed. We present methods to reduce emissions, including the use of more environmentally friendly fuels, optimization of combustion processes and modernization of boiler equipment. Particular attention is paid to analyzing the results of applying these methods in practice, as well as assessing their economic efficiency and impact on the environment. Thus, this scientific article is a relevant and important study aimed at finding effective solutions to reduce the negative impact of boiler units on the environment and human health.

**Keywords:** boiler unit, fuel, emissions, optimization, environmental pollution.

Снижение выбросов при работе котельного агрегата является одним из наиболее актуальных вопросов современного мира [1]. С учетом растущей осведомленности об окружающей среде и глобальных климатических проблем, необходимо найти эффективные решения для уменьшения негативного воздействия котельных агрегатов на окружающую среду, те методы, которые сейчас используются повсеместно являются устаревшими, достаточно дорогими и обладают малой эффективностью.

Важнейшим элементом стратегии по уменьшению выбросов является постоянное улучшение технологий, используемых в котельных установках. Использование и применение инновационных методов очистки и фильтрации помогает существенно снизить количество вредных веществ, образующихся при сжигании топлива с целью нагрева. Применение современных каталитических преобразователей, циклонных фильтров и систем утилизации тепла способствует существенному повышению эффективности и уменьшению выбросов загрязняющих веществ [2].

Другим эффективным способом сокращения выбросов при работе котельных агрегатов является оптимизация процесса сгорания топлива. Это включает в себя контроль смешения топлива и воздуха, оптимизацию

режимов сгорания, использование автоматических систем регулирования и контроля параметров процесса. Благодаря этим мерам можно значительно улучшить качество сгорания, минимизировать образование угарного газа и твердых частиц, а также повысить эффективность сгорания [3]. Например, при уменьшении избытка воздуха в камере сгорания значительно снижается выделение  $\text{NO}_x$  и серы, соответственно уменьшается их содержание в продуктах сгорания.

Правильный выбор и использование топлива играют важную роль. Использование более экологически чистых видов топлива, таких как природный газ, биотопливо или электричество, может значительно снизить выбросы при работе котельного агрегата. Кроме того, модернизация системы подачи топлива и его сжигание позволяет увеличить энергетическую эффективность и сократить выбросы вредных веществ [4].

Нам кажется, что для достижения наилучших экологических показателей нужно пользоваться не одним каким-то конкретным способом, а использовать все в совокупности. Да это усложнит технические процессы, но в то же время произойдет значительное увеличение экологических показателей котельной установки.

Для достижения максимального снижения выбросов при работе котельных агрегатов также необходимы систематические меры по контролю и мониторингу работы этих систем. Регулярное техническое обслуживание, проверка и регулировка параметров, а также контроль за использованием экологических технологий и предупреждение аварийных ситуаций – все это существенно влияет на уровень выбросов [5].

В заключение хотелось бы отметить, что снижение выбросов при работе котельного агрегата является задачей, требующей комплексного подхода и применения современных технологий. Инновационные разработки, оптимизация процессов сгорания, использование экологически чистого топлива и систем контроля и мониторинга — все это позволяет не только уменьшить загрязнение окружающей среды, но и повысить эффективность использования энергоресурсов.

### **Источники**

1. Васина, М. В. Снижение выбросов вредных веществ в атмосферный воздух от отходящих газов топливосжигающих установок ТЭЦ / М. В. Васина, К. О. Игнашина // Молодой ученый. – 2016. – № 16(120). – С. 463-466.

2. Выбросы от котельной – как избежать загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс] <https://www.kotel-modul.ru/useful/vybrosy-ot-kotelnoy?ysclid=lt1ksc9ks8614967463> (Дата обращения 18.02.24).

3. 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.

4. Пятыгина, М. В. Комплексный подход к изучению процессов переработки твердых топлив и утилизации продуктов разложения углеводородов / М. В. Пятыгина, Г. Р. Мингалеева // Труды Международной научной конференции молодых ученых и специалистов "Экология энергетики - 2017", Москва, 23–24 ноября 2017 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. – С. 120-123.

5. Мероприятия по снижению экологического риска при эксплуатации котельных / Ю. Н. Зацаринная, А. Р. Хайбуллина, Г. Р. Шабиева [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 10. – С. 133-134.

УДК 620.101.546

## МЕХАНИКА В COMSOL MULTIPHYSICS

Анцырев Артур Алексеевич

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

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

ortyrkis@gmail.com

В статье рассматривается применение программного обеспечения COMSOL Multiphysics для моделирования и анализа сложных механических систем. Автор рассматривает основные виды механического анализа, доступные в COMSOL Multiphysics, такие как статический, динамический, модальный, нелинейный и контактный анализ. В статье также описываются некоторые преимущества COMSOL Multiphysics для моделирования механических систем.

**Ключевые слова:** COMSOL Multiphysics, механика, моделирование, анализ, напряжения, деформации, вибрации, шум.



# MECHANICS IN COMSOL MULTIPHYSICS

Antsyrev Artur A.

Scientific advisor Maslov Igor N.

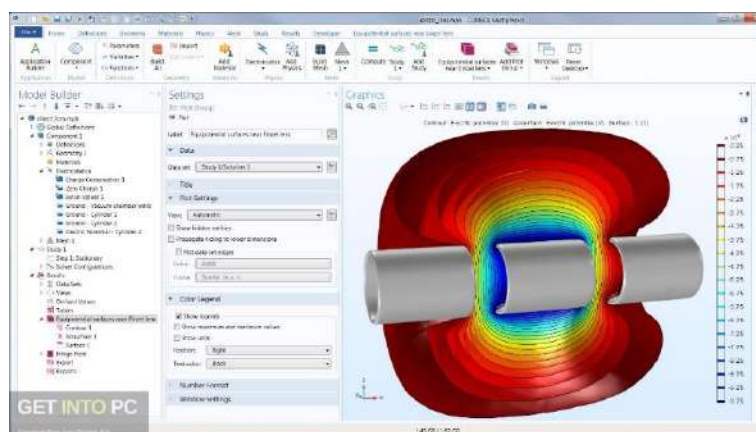
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ortyrkis@gmail.com

The article discusses the application of the COMSOL Multiphysics software for modeling and analysis of complex mechanical systems. The author considers the main types of mechanical analysis available in COMSOL Multiphysics, such as static, dynamic, modal, nonlinear and contact analysis. The article also describes the advantages of COMSOL Multiphysics for modeling mechanical systems.

**Keywords:** COMSOL Multiphysics, mechanics, modeling, analysis, stress, deformation, vibration, noise.

Моделирование физических процессов является неотъемлемой частью современной науки и техники. Оно позволяет исследовать сложные явления, оптимизировать конструкции и технологические процессы, а также сократить время и затраты на разработку новых продуктов. Однако, моделирование является сложным процессом, требующим специальных знаний и навыков, а также использования соответствующего программного обеспечения. Выбор подходящего инструмента для моделирования является не менее сложной задачей, так как существует большое количество программных продуктов, предназначенных для решения различных задач. Одним из наиболее универсальных и мощных инструментов для моделирования физических процессов является COMSOL Multiphysics (см. рисунок). Данный инструмент является относительно новым направлением в механике и его использование позволяет оптимизировать конструкции и технологические процессы.



Пример пользовательского интерфейса COMSOL Multiphysics

Это программное обеспечение позволяет моделировать и анализировать различные физические явления, такие как теплообмен, массоперенос, электромагнитные процессы, механику и многие другие. COMSOL Multiphysics основан на методе конечных элементов, который позволяет получить высокую точность результатов и гибкость в моделировании сложных систем [1]. COMSOL Multiphysics имеет ряд преимуществ по сравнению с другими программами для моделирования механических систем [2]: универсальность: COMSOL Multiphysics позволяет моделировать не только механические, но и другие физические процессы, такие как теплообмен, массоперенос, электромагнитные процессы и многие другие; гибкость: COMSOL Multiphysics предоставляет широкий спектр возможностей для настройки модели и анализа результатов. Пользователь может выбирать различные типы элементов, устанавливать дополнительные условия и ограничения, а также использовать различные методы решения; точность: COMSOL Multiphysics основан на методе конечных элементов, который позволяет получить высокую точность результатов; наглядность: COMSOL Multiphysics предоставляет широкие возможности для визуализации результатов. Пользователь может строить графики, диаграммы, что облегчает их анализ и понимание; интеграция: COMSOL Multiphysics позволяет интегрировать модели в другие программные продукты, такие как MATLAB, Excel и другие. Также данная программа предоставляет широкий спектр возможностей для моделирования и анализа различных механических систем. Основные виды механического анализа, доступные в COMSOL Multiphysics, включают: статический анализ, динамический анализ, модальный анализ, нелинейный анализ, контактный анализ и усталостный анализ. COMSOL Multiphysics широко применяется в механике для решения сложных задач, таких как анализ напряжений и деформаций в конструкциях, вибраций и шума в механических системах, тепловых напряжений, усталости материалов и контактных взаимодействий [3]. Этот инструмент используется в различных отраслях промышленности для оптимизации конструкций, повышения надежности и снижения затрат на производство [4-6].

В заключении, COMSOL Multiphysics является мощным и универсальным инструментом для моделирования и анализа сложных механических систем. Этот инструмент предоставляет широкий спектр возможностей для моделирования и анализа различных механических явлений.

## Источники

1. Калганова С.Г., Архангельский Ю.С., Тригорлый С.В., Захаров В.В. Моделирование процессов СВЧ термообработки диэлектриков с применением пакета COMSOL Multiphysics // Вопросы электротехнологии. 2017. № 3(16). С. 6-10.
2. Химченко Д.Г. Применение программного пакета COMSOL Multiphysics для моделирования вихревой дорожки Кармана // Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы 2018. С. 59-61.
3. Калганова С.Г., Архангельский Ю.С., Тригорлый С.В., Захаров В.В. Численное моделирование электротехнологических процессов с применением программного пакета COMSOL Multiphysics // Вопросы электротехнологии. 2017. № 2(15). С. 34-42.
4. Хакимуллина Л. Ш. О проблеме учета эмпирического закона "сухого" трения в динамике эллиптического маятника // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 3-4. С. 62-67.
5. Khakimullina L. S. The Method of Calculating the Optimal Shape of the Electrode-Tool for Electrochemical Treatment of Gas Turbine Engine Blades // Key Engineering Materials. 2022. Vol. 910 КЕМ. Р. 290-295. DOI 10.4028/p-avs01f.
6. Хакимуллина Л. Ш., Скимель В. Н. К динамике систем с сухим трением в примере Пэнлеве – Клейна // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2003. № 4. С. 42-44.

УДК 621.311

## СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ СТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ НА УГЛЕ И ГАЗЕ

Анцырев Артур Алексеевич<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>  
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич  
<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup> ortyrkis@gmail.com, <sup>2</sup> ig-mas@mail.ru

Данный обзор представляет собой исследование и сравнительный анализ тепловых станций, работающих на угле и газе. Рассматриваются основные

технические, экономические и экологические аспекты функционирования этих двух типов энергетических установок. Проанализированы эффективность использования ресурсов, выделение выбросов и влияние на окружающую среду, а также экономическая выгода и перспективы развития данной отрасли.

**Ключевые слова:** Тепловые станции, уголь, газ, сравнительный анализ, эффективность, экологические аспекты.

## COMPARISON OF THERMAL POWER STATIONS OPERATING ON COAL AND GAS

Antsyrev Artur A.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov N.G.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>ortyrkis@gmail.com, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

This article presents a study and comparative analysis of thermal power stations operating on coal and gas. It examines the main technical, economic, and environmental aspects of the operation of these two types of energy installations. The efficiency of resource utilization, emissions release, environmental impact, as well as economic benefits and development prospects of this industry are analyzed.

**Keywords:** Thermal power stations, coal, gas, comparative analysis, efficiency, environmental aspects.

В современном мире энергетика играет ключевую роль в обеспечении потребностей общества. Тепловые станции на угле и газе являются двумя основными источниками производства электроэнергии [1-3].

Тепловые станции, работающие на угле и газе, имеют свои особенности и технические параметры, определяющие их эффективность и экономическую целесообразность [4-6]. Первоначально стоит рассмотреть принципы работы каждого типа станций: 1. Тепловые станции, использующие уголь, основаны на процессе сжигания угля для нагрева воды и создания пара. При этом, пар используется для привода турбин, которые в свою очередь вращают генераторы электроэнергии. Угольные станции характеризуются высокой тепловой мощностью и долгим сроком службы, однако, они имеют высокий уровень выбросов вредных веществ, таких как диоксиды серы и азота, а также углекислый газ. 2. Тепловые станции, работающие на газе, используют природный газ или сжиженный природный газ (СПГ) в качестве топлива. Они характеризуются более

чистым процессом сгорания, что приводит к меньшему уровню выбросов вредных веществ и более высокой эффективности преобразования энергии. Газовые станции также обладают более гибкой системой управления и быстрым запуском, что делает их более подходящими для регулирования нагрузки в энергосистеме.

При сравнении затрат на строительство и эксплуатацию тепловых станций на угле и газе, важно учитывать как начальные инвестиции, так и операционные расходы на длительном периоде эксплуатации. Стандартные затраты на строительство тепловой станции на угле составляют в среднем от 180 000 до 250 000 рублей за киловатт установленной мощности, в то время как затраты на строительство газовой станции могут варьироваться от 90 000 до 150 000 рублей за киловатт [5, 6].

Для оценки экономической эффективности каждого типа станции используется несколько показателей, включая внутреннюю норму доходности (IRR), период окупаемости инвестиций (ROI) и коэффициент возврата инвестиций (CROI). Например, исследование, проведенное в 2020 году, показало, что у газовых тепловых станций средний ROI составляет около 15%, в то время как у угольных станций он колеблется в пределах 8-10%. Это указывает на то, что газовые станции обычно имеют более высокую экономическую эффективность по сравнению с угольными станциями, хотя начальные инвестиции могут быть выше.

При сравнении тепловых станций на угле и газе важно учитывать их экологические последствия, например: согласно отчету Международной энергетической агентства (МЭА), угольные электростанции в 2019 году были ответственны за 30% всех выбросов углекислого газа ( $CO_2$ ) в мире. Они также являются основным источником выбросов серы диоксида ( $SO_2$ ) и оксидов азота ( $NO_x$ ) [3]; в сравнении, газовые тепловые станции имеют значительно более низкие уровни выбросов вредных веществ; согласно исследованию Мирового банка, выбросы  $CO_2$  от газовых электростанций на 50-60% меньше, чем от угольных. Также уровень выбросов  $SO_2$  и  $NO_x$  существенно ниже у газовых станций, что делает их более экологически чистыми и меньше вредящими окружающей среде [4].

Общий анализ тепловых станций на угле и газе позволяет сделать несколько ключевых выводов: газовые станции обладают более высокой экономической эффективностью и меньшим воздействием на окружающую среду, благодаря более низким уровням выбросов вредных веществ; угольные станции характеризуются более высокими затратами на

строительство и эксплуатацию, а также более высоким уровнем загрязнения воздуха и воды.

Таким образом, для достижения устойчивого и экологически чистого энергетического развития необходимо развивать и применять как технологии на основе угля, так и газовые технологии с учетом их конкретных характеристик и потенциала для сокращения вредного воздействия на окружающую среду.

### **Источники**

1. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Исследование режимных параметров поточного газогенератора при газификации твердого топлива // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 216-223.

2. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Моделирование процесса образования продуктов термохимической переработки угля // Теплоэнергетика. 2010. № 9. С. 67-70.

3. Mingaleeva G., Nguen D.T., Pham D N. [et al.] The integration of hybrid mini thermal power plants into the energy complex of the republic of vietnam // Energies. 2020. Vol. 13, No. 21. P. 5848. DOI 10.3390/en13215848.

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.

5. 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.

6. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

## ВЫБОР ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗОЛИРОВАННОГО РАЙОНА

Асыллов Алмаз Рустамович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>almaz.asylov692@yandex.ru, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

В данной работе рассмотрены проблемы электроснабжения изолированных районов Российской Федерации и выбора газопоршневых установок для этих районов.

**Ключевые слова:** электроснабжение, изолированный район, газопоршневая установка, ГПУ.

## CHOOSING A GAS PISTON INSTALLATION FOR AN ISOLATED AREA

Asylov Almaz R.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov N.G.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>almaz.asylov692@yandex.ru, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

In this paper, the problems of power supply to isolated areas of the Russian Federation and the choice of gas piston installations for these areas are considered.

**Keywords:** power supply, isolated area, gas piston installation, GPI.

Ввиду обилия в Российской Федерации районов, не затронутых Единой Энергетической Системой, развитие малой распределенной энергетики является одним из важнейших приоритетов. Одной из составляющих частей малой энергетики являются генерирующие установки на базе газопоршневых двигателей (см. рисунок). В связи с этим, встает вопрос выбора подобных установок с учетом фактических нагрузок [1-3]. На сегодняшний день эффективное энергоснабжение изолированных районов является приоритетной задачей в развитии территорий, не охватываемых единой энергосистемой. Выбор оптимального по характеристикам энергетического оборудования - залог экономически оправданных инвестиций в его строительство. Существующие нормативные требования, к сожалению, способствуют

выбору завышенных характеристик генерирующего оборудования, что приводит к низким энергоэффективным показателям относительно паспортных. Актуализация энергетических нагрузок позволит с одной стороны выбрать экономически обоснованное оборудование, а с другой стороны эффективно его загрузить с обеспечением надёжного и качественного энергоснабжения [4-6].



Внешний вид газопоршневой установки.

ГПУ являются одной из наиболее необходимых в энергетическом секторе технологий. КПД ГПУ (до 50%) существенно выше, чем у газотурбинных установок (до 40%). При выборе газопоршневой установки для изолированного района следует учитывать ряд факторов:

1. Мощность установки. Необходимо определить требуемую мощность исходя из потребностей района в электроэнергии. Кроме того, необходимо учитывать, что часть электроэнергии установки расходуется на собственные нужды.

2. Надёжность и долговечность. Важно выбрать установку, которая обеспечит надёжную работу на протяжении длительного времени без необходимости частого обслуживания и ремонта.

3. Эффективность. Важно выбрать установку, которая обладает высоким КПД и обеспечит экономичное использование газа.

4. Экологическая безопасность. При выборе установки следует обратить внимание на ее экологичность и соблюдение стандартов по выбросам и загрязнению окружающей среды.

Итак, необходимо проведение дальнейших научно-исследовательских работ и технико-экономических расчетов для выбора газопоршневой установки для электро- и теплоснабжения конкретных изолированных районов с учетом фактических нагрузок.



## Источники

1. 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.
2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.
3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.
4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.
5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.
6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

УДК 621.31

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ДВУХВАЛЬНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФОРСАЖНОЙ КАМЕРОЙ

Асыллов Алмаз Рустамович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Титов Александр Вячеславович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>almaz.asylov692@yandex.ru, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

В данной работе исследуется изменение характеристик двухвальной газотурбинной установки в зависимости от температуры наружного воздуха для классической схемы и для схемы, модернизированной форсажной камерой.

**Ключевые слова:** газовая турбина, газотурбинный двигатель, модернизация, форсажная камера.

## INVESTIGATION OF THE MODERNIZATION OF A TWO-SHAFT GAS TURBINE ENGINE WITH AN AFTERBURNER

Asylov Almaz R.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Titov Alexander V.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>almaz.asylov692@yandex.ru, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

In this paper, we studied the change in the characteristics of a two-shaft gas turbine installation depending on the outdoor temperature for the classical circuit and for the circuit upgraded with an afterburner.

**Keywords:** gas turbine, gas turbine engine, modernization, afterburner.

Программный комплекс АС ГРЭТ позволяет производить расчеты любых газотурбинных установок, применяемых в различных отраслях промышленности [1-3]. С помощью этой программы было проведено исследование, целью которого является сравнение изменения удельного расхода топлива (рис. 1) и КПД (рис. 2) в зависимости от температуры наружного воздуха в классической схеме двухвальной ГТУ (состоящей из входного устройства, компрессора, камеры сгорания, турбины высокого и низкого давлений, переходного канала) со схемой, модернизированной форсажной камерой [4-6].

Исходными данными для проведения научно-исследовательской работы являлись: номинальная мощность  $N=50\text{МВт}$ , температура газов в камере сгорания  $T_r=1600\text{К}$ , степень сжатия воздуха в компрессоре  $\pi_k=15$ ,  $t_{н.в.}=213\dots323\text{К}$ .

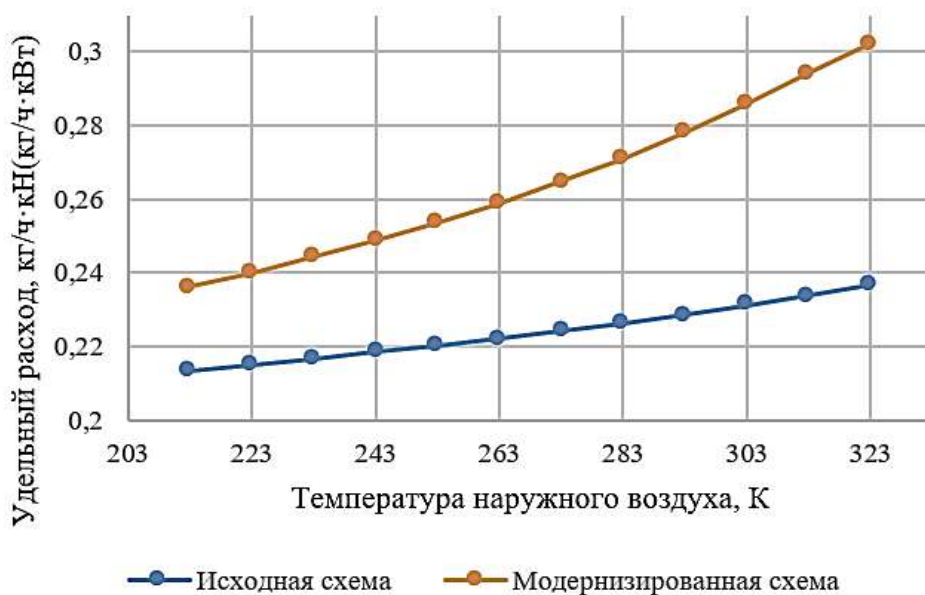


Рис. 1. Изменение удельного расхода топлива в зависимости от температуры наружного воздуха.

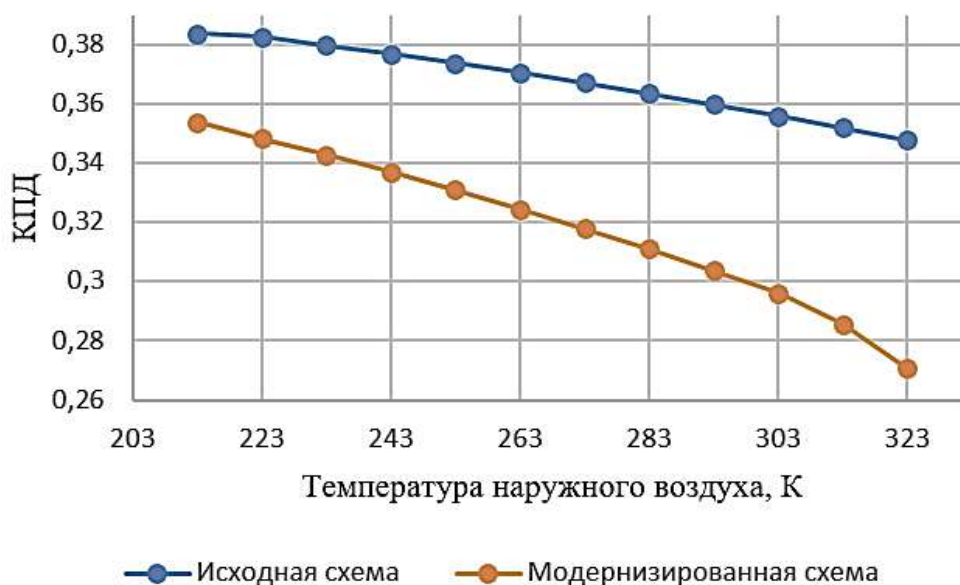


Рис. 2. Изменение КПД установки в зависимости от температуры наружного воздуха.

Как видно из рис. 1 и рис. 2, при модернизации классической двухвальной газотурбинной установки форсажной камерой, характеристики изменяются по сравнению с исходной схемой: при температуре 283К удельный расход топлива возрастает на 60%, а КПД установки падает на 14.7%. Требуются дальнейшие исследования для оценки эффективности модернизации данной схемы.

### Источники

1. 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.
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.
3. 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.
4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846.
5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.
6. 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.

## РАСЧЁТ СЕТЕВОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Бакинский Артур Айдарович

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна

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

bakinsky02@mail.ru

Расчёт сетевого подогревателя паротурбинной установки является важным этапом проектирования и эксплуатации турбинной установки. В данной статье мы рассмотрим методику расчёта сетевого подогревателя.

**Ключевые слова:** сетевой нагреватель, паровая турбина, анализ, энергетика.

## CALCULATION OF A NETWORK HEATER FOR A STEAM TURBINE PLANT

Bakinskiy Artour A.

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bakinsky02@mail.ru

Calculation of the network heater of a steam turbine plant is an important stage in the design and operation of a turbine plant. In this article we will look at the method for calculating a network heater.

**Keywords:** network heater, steam turbine, analysis, energy.

Сетевой подогреватель в паровой турбине – это важное устройство, которое используется для повышения эффективности работы паровой турбины [1-3]. Он обеспечивает нагрев пара перед его поступлением в турбину, что позволяет увеличить температуру и давление пара, что в свою очередь повышает эффективность процесса преобразования тепловой энергии в механическую, рис. 1.

Расчитать сетевой подогреватель в паровой турбине можно по следующей методике:

1. Определение теплового баланса: необходимо учесть количество подаваемой тепловой энергии и количество тепловой энергии, которое уходит на нагрев пара в подогревателе;

2. Расчет теплового потока: для этого нужно знать начальную и конечную температуру пара, а также его давление;

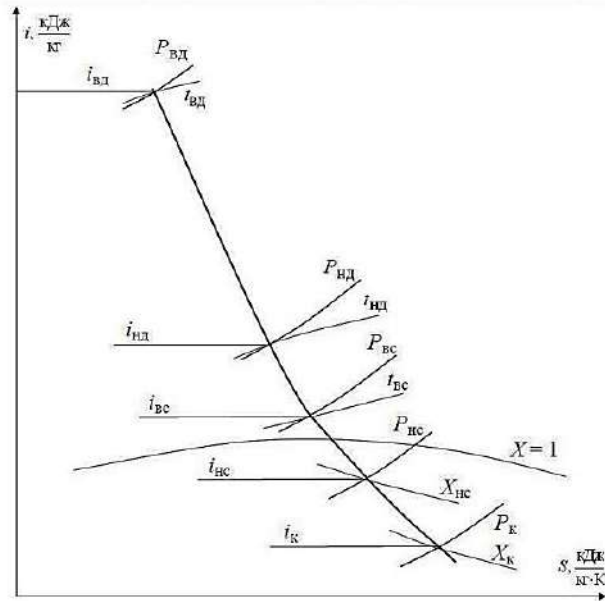


Рис. 1. Процесс расширения пара в турбине

3. Определение характеристик подогревателя: необходимо знать его площадь нагрева, коэффициент теплопередачи и другие параметры, которые влияют на эффективность нагрева пара.

4. Расчет КПД подогревателя: определяется как отношение выходной тепловой энергии к входной.

5. Анализ результатов: полученные данные позволяют оценить эффективность работы сетевого подогревателя и внести необходимые коррективы для оптимизации процесса, рис. 2.

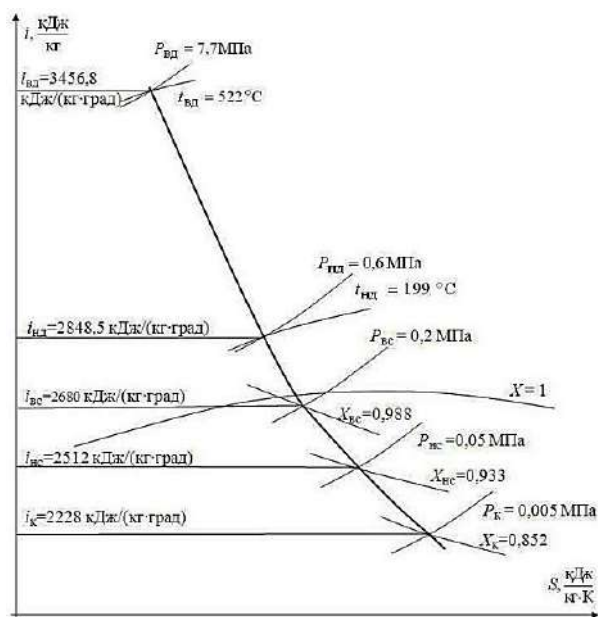


Рис. 2 Результаты расчёта

Таким образом, расчет сетевого подогревателя в паровой турбине является важным этапом проектирования и эксплуатации турбинной установки [2,3]. Он позволяет оптимизировать процесс преобразования тепловой энергии в механическую и повысить эффективность работы паровой турбины в целом.

### Источники

1. 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.
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.
3. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

## ОБЗОР РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ

Барейчев Рамиль Тимурович<sup>1</sup>, Корсаков Антон Витальевич<sup>2</sup>

Науч. рук. асс. Клейн Евгений Васильевич<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>rbmane@icloud.com, <sup>2</sup>akvitalevich@gmail.com

В данной статье рассматриваются различные типы газогенераторов их преимущества и недостатки, особенности строения генератора каждого вида, а также принцип работы газогенератора.

**Ключевые слова:** газогенераторы, топливо.

## OVERVIEW OF DIFFERENT TYPES OF GAS GENERATORS

Bareichev Ramil T.<sup>1</sup>, Korsakov Anton V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Klein Evgeny V.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>rbmane@icloud.com, <sup>2</sup>akvitalevich@gmail.com

This article discusses various types of gas generators, their advantages and disadvantages, the structural features of each type of generator, as well as the principle of operation of the gas generator.

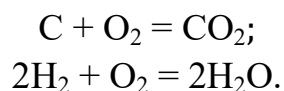
**Keywords:** gas generators, fuel.

Газогенератор – это устройство, которое преобразует твердое топливо, такое как уголь, торф, древесину, солому и отходы деревообработки, в горючий газ.

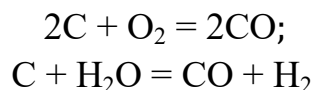
Газогенератор работает, используя процесс, который не полностью сжигает углерод. Углерод способен связываться с одним или двумя атомами кислорода, формируя соединения монооксид (угарный газ) и диоксид (углекислый газ), соответственно. Это выделяет около одной трети энергии от полного сгорания топлива. В результате получается газ с более низкой теплотворной способностью, чем исходное твердое топливо [1].

В газогенераторе идут различные химические процессы. При горении с обедненным количеством кислорода протекают реакции окисления угля и углеводородов и с выделением тепловой энергии [2]:





Реакции восстановления с потреблением тепловой энергии:



Активная часть газогенератора состоит из трёх перетекающих участков: термического разложения топлива, окисления, восстановления. Генераторный газ состоит из различных видов горючих веществ, таких как CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, а также отходов, образующихся в процессе газификации, таких как CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Состав генерируемого газа обусловлен типом применяемого топлива и конструкцией газогенератора.

Одним из основных преимуществ использования газогенераторов является возможность использования низкосортного топлива, которое не может быть использовано в других типах двигателей. Кроме того, вырабатываемый газ имеет высокую теплотворную способность, что позволяет использовать его для различных целей, включая отопление и производство электроэнергии. Однако стоит отметить, газогенераторы требуют регулярного технического обслуживания и чистки, чтобы обеспечить их продолжительную и надежную работу.

Существует несколько типов газогенераторов:

1. Газогенераторы прямого процесса газификации;

К такому виду газогенераторов относится газогенератор «ЦНИИАТ-АГ-2». Он разработан с использованием принципа центральной подачи воздуха и центрального отвода газа. Конструкция газогенератора состоит из корпуса, конической камеры газификации и зольника. Основным преимуществом газогенератора является возможность газифицировать небитуминозные многозольные сорта твердого топлива – полукокс и антрацит. Эта установка не стала широко использоваться, так как она была непригодна для газификации наиболее распространенного вида твердого топлива – древесины. Кроме того, приспособления для хранения, дозирования и испарения воды значительно усложняли конструкцию газогенератора.

2. Газогенераторы обращенного (опрокинутого) процесса газификации;

Он используется для газификации битуминозных (смолистых) сортов твердого топлива таких как древесные чурки и древесный уголь.

Газогенератор Г-50 имеет конструкцию вертикального цилиндрического аппарата с двойной стальной оболочкой. Он предназначен для получения генераторного газа посредством переработки углеродистых материалов. Нижняя часть аппарата представляет собой камеру газификации специфической формы - с двумя «горловинами» и усеченным конусом. По периметру камеры газификации располагаются фурмы, подключенные к воздухораспределительному коллектору. В нижней секции наружного корпуса располагаются люк для выгрузки золы, отверстие для растопки и патрубков для подачи воздуха [3].

3. Газогенераторы поперечного (горизонтального) процесса газификации.

Особенностью газогенераторов этого типа является то, что зона горения находится в небольшом объеме и процесс газификации происходит при высокой температуре. Благодаря этому, газогенераторы поперечного процесса могут адаптироваться к различным режимам работы и имеют быстрое время запуска. Газогенератор имеет конструкцию цилиндрического бункера, нижняя часть которого, изготовленная из листовой стали толщиной 6-8 мм, служила камерой для газификации. В верхней части бункера был люк для загрузки топлива.

Каждый тип газогенератора предназначен для определенного вида топлива и отличается принципом работы и качеством сгорания топлива в камере.

## Источники

1. Шакиров, Э. Р. Снижение выбросов тепловых электрических станций за счёт применения синтез газа / Э. Р. Шакиров, И. Н. Маслов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 12. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 440-443.

2. Клейн, Е. В. Анализ стадий газификации твердого топлива / Е. В. Клейн // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов: в 3 т., Казань, 06–07 декабря 2022 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 188-190.

3. Принцип работы [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Газогенератор\\_\(Дата обращения: 18.02.2024\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Газогенератор_(Дата_обращения:_18.02.2024))

УДК 338

## БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Валиуллин Артур Андреевич<sup>1</sup>, Шарипов Тимур Ильшатovich<sup>2</sup>,  
Шакуров Фаиль Фиргатович<sup>3</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич  
<sup>1,2,3</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>valiullin.art2017@gmail.com

В современном бизнес-мире, где энергозатраты становятся все более значимым фактором успеха предприятия, внедрение инновационного подхода к минимизации затрат на электроэнергию может стать ключевым преимуществом. Одним из успешных методов эффективного управления энергоасpekтами на предприятии является внедрение принципов бережливого производства. Именно этот вопрос и будет рассмотрен автором в данной статье.

**Ключевые слова:** минимизация затрат, бережливое производство, энергосистемы, оптимизация ресурсов, конкурентоспособность.

## LEAN MANUFACTURING FOR POWER SYSTEMS

Valiullin Artur A.<sup>1</sup>, Sharipov Timur I.<sup>2</sup>, Shakurov Fanil F.<sup>3</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

<sup>1,2,3</sup> FSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>valiullin.art2017@gmail.com

In today's business world, where energy costs are becoming an increasingly significant factor in the success of an enterprise, the introduction of an innovative approach to minimizing energy costs can be a key advantage. One of the successful methods of effective energy management at the enterprise is the introduction of lean manufacturing principles. This is exactly the question that the author will consider in this article.

**Keywords:** cost minimization, lean manufacturing, energy systems, resource optimization, competitiveness.

Бережливое производство является важной концепцией в сфере энергосистем [1-3]. Эта методология позволяет компаниям эффективно

использовать ресурсы, снижая потери и оптимизируя процессы. Бережливое производство способствует экономической эффективности, снижению воздействия на окружающую среду и повышению конкурентоспособности предприятий.

Одним из основных принципов бережливого производства является исключение любых видов потерь - как материальных, так и временных. Компании, занимающиеся энергосистемами, стремятся к устранению всех ненужных операций, процессов и запасов, что позволяет снизить затраты на производство и повысить его эффективность [4-6].

В рамках бережливого производства для энергосистем внимание также уделяется оптимизации процессов и повышению качества продукции. Организационные изменения, внедрение новых технологий и методов позволяют улучшать эффективность работы системы и уменьшать потребление ресурсов. Снижение нагрузки на окружающую среду является еще одним важным аспектом бережливого производства для энергосистем. Компании стремятся использовать возобновляемые источники энергии, сокращать выбросы вредных веществ и эффективно использовать ресурсы, чтобы уменьшить негативное воздействие на климат и окружающую среду [2-4].

Внедрение бережливого производства для энергосистем позволяет компаниям стать более конкурентоспособными на рынке. В результате снижения затрат и улучшения эффективности, предприятия могут предложить более выгодные условия для своих клиентов и привлечь больше заказов. Принципы бережливого производства, также известного как леан-производство, представляют собой систему управления, основанную на идее устранения всех видов потерь в процессах производства. В случае энергоэффективности, бережливое производство может быть применено для оптимизации энергопотребления и снижения энергозатрат на предприятии [3-5].

Одним из инновационных подходов к минимизации затрат на электроэнергию является внедрение систем мониторинга и управления энергопотреблением. Автоматическое обнаружение неэффективных потребителей энергии и их оптимизация позволяют снизить энергозатраты и повысить общую энергоэффективность предприятия. Другим значимым аспектом инновационного подхода является внедрение энергоэффективного оборудования и технологий. Это может включать в себя использование энергосберегающих источников света, применение современных систем кондиционирования и вентиляции, а также энергоэффективных производственных машин и оборудования. Установка

систем отслеживания энергопотребления на каждом участке производства позволяет эффективнее управлять энергозатратами и устранять возможные потери. Кроме того, внедрение принципов бережливого производства предполагает обучение и вовлечение персонала в процесс оптимизации энергопотребления. Обучение работников новым энергосберегающим методам и постоянное сопровождение позволяют снизить энергозатраты на предприятии и создать культуру энергоэффективности [2].

В итоге, инновационный подход, основанный на принципах бережливого производства, позволяет предприятию значительно снизить затраты на электроэнергию. Таким образом, бережливое производство для энергосистем является эффективным подходом, который позволяет компаниям оптимизировать ресурсы, снижать потери, улучшать качество продукции и снижать негативное воздействие на окружающую среду. Эта философия помогает компаниям стать более конкурентоспособными и успешными в современном рыночном окружении.

### **Источники**

1. Маслов И. Н., Маслова Г. Д. Организация обучения студентов (слушателей) методам бережливого производства с использованием обучающих тренингов // Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество: Материалы VIII Всероссийской научно-методической конференции. В 3-х томах, Казань, 18 мая 2018 года. Том 2. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. С. 184-190.

2. Дятлова Д. В., Савельева Д. С., Маслов И. Н. Бережливое производство для энергосистем и промышленных производств // Научно-производственный бизнес: устойчивое развитие экономики и ESG-трансформация: Материалы IV инновационно-образовательного Кампуса - 2022, Казань, 14–15 апреля 2022 года / Под редакцией И.И. Антоновой. – Казань: Издательство "Познание", 2022. С. 67-70.

3. Антонова И. И., Маслов И. Н., Маслова Г. Д., Хадиева А. Т. Использование обучающих тренингов для приобретения навыков бережливого производства // Эффективные системы менеджмента: качество и цифровая трансформация: материалы VIII международного научно-практического форума, Казань, 24–25 апреля 2019 года. Том Часть I. Казань: Издательство "Познание", 2019. С. 61-65.

4. 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, Kazan, 18–20 сентября 2019 года. Vol. 124. Kazan: EDP Sciences, 2019. P. 04019. DOI 10.1051/e3sconf/201912404019.

5. Ломоносова, А. А., Маслов И. Н. потенциал развития энергетики в современных условиях // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова : Сборник докладов, Белгород, 16–17 мая 2023 года. Том Часть 14. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 190-193.

УДК 546.11

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Валиуллин Артур Андреевич<sup>1</sup>, Шарипов Тимур Ильшатович<sup>2</sup>,  
Шакуров Фаиль Фиргатович<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>valiullin.art2017@gmail.com

Водородные накопители в энергетике – инновационное решение для чистой и устойчивой энергетической системы. В последние годы водородные технологии стали широко изучаться и применяться в различных отраслях, включая автомобильную, промышленную и бытовую.

**Ключевые слова:** водородные накопители, энергетика, технологический прогресс, энергоснабжение, энергетические питание.

## **THE USE OF HYDROGEN STORAGE DEVICES IN THE ENERGY INDUSTRY**

Valiullin Artur A.<sup>1</sup>, Sharipov Timur I.<sup>2</sup>, Shakurov Fanil F.<sup>3</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>valiullin.art2017@gmail.com

Hydrogen storage in the energy sector is an innovative solution for a clean and sustainable energy system. In recent years, hydrogen technologies have been widely studied and applied in various industries, including automotive, industrial and household.

**Keywords:** hydrogen storage, energy, technological progress, energy supply, energy nutrition.

Водородные накопители, также известные как водородные батареи, представляют собой системы, способные хранить и выделять энергию, полученную от водорода [1-3]. Подходящая для долгосрочного хранения и эффективного использования, эта технология становится важным фактором для достижения энергетической независимости и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Принцип работы водородных накопителей заключается в использовании электролиза для разложения воды на водород и кислород. Водород затем сжимается или хранится в металлическом абсорбере, чтобы быть доступным для использования в будущем. Когда энергия требуется, водород подается на топливный элемент, где он соединяется с кислородом из воздуха, производя электричество, воду и тепло [3-5]. Кроме того, водородные накопители обладают высокой энергетической плотностью, что означает, что они способны хранить большое количество энергии на единицу массы или объема. Однако, несмотря на многообещающие возможности водородных накопителей, их широкое внедрение ограничено рядом факторов, включая высокую стоимость производства и недостаток инфраструктуры. Тем не менее, современные исследования и технологический прогресс постепенно снижают эти препятствия, что в будущем может привести к более широкому использованию водородных накопителей как энергетического решения [4-6]. Водородные накопители являются новым и перспективным направлением в области энергетики. Эти устройства обладают способностью хранить и отпускать водород, который впоследствии может быть использован для производства электроэнергии. Таким образом, водородные накопители представляют собой эффективное решение проблемы хранения и транспортировки водорода - чистого и экологически безопасного источника энергии. Также одним из главных преимуществ использования водородных накопителей является возможность получения энергии во время пикового спроса. Водород может храниться в достаточных количествах, чтобы обеспечить электроэнергией весь город или даже регион в течение нескольких часов или даже дней. Это делает водородные накопители весьма привлекательными для различных энергетических систем, которые требуют надежного источника энергии в нестабильных условиях. Вторым значительным преимуществом использования водородных накопителей является их экологическая чистота. Отработав, водород не оставляет

никаких загрязнений, вредных веществ или выбросов в окружающую среду. В сравнении с традиционными источниками энергии, такими как уголь или нефть, водородные накопители являются абсолютно экологически безопасными. Таким образом, применение этих устройств в энергетике может значительно сократить негативное воздействие на окружающую среду и внести важный вклад в борьбу с изменением климата. Однако, несмотря на все преимущества, водородные накопители имеют и свои ограничения. Одной из главных сложностей является недостаток инфраструктуры для использования и хранения водорода. Для эффективного функционирования таких устройств необходимы специальные технологии и топливо-клеточные системы, которые требуют значительных инвестиций и времени для развертывания. Кроме того, водород имеет низкую энергетическую плотность, что снижает его эффективность и требует большого объема для хранения [1-3]. Таким образом, водородные накопители представляют собой перспективную и устойчивую технологию в области энергетики. Главные преимущества этой технологии – экологическая чистота и высокая энергетическая плотность, которые делают ее идеальной для использования в различных секторах экономики. Будущее водородных накопителей обещает изменить энергетическую парадигму и способствовать созданию более устойчивой и экологически чистой будущей энергетической системы. Однако, для их широкого применения необходимо решить технические, экономические и инфраструктурные проблемы, которые ограничивают их текущую эффективность и доступность.

### **Источники**

1. Марьин Г. Е., Осипов Б. М., Титов А. В., Ахметшин А. Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035.

2. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 2020. С. 4430-4433.

3. Марьин, Г. Е. Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного



компонентного состава : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марьин Георгий Евгеньевич, 2023. 247 с.

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.

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.

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.

УДК 624.046.5

## **К МЕТОДИКЕ МЕХАНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МОНТАЖНЫХ НАТЯЖЕНИЙ И СТРЕЛ ПРОВЕСА ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Волкова Елизавета Валерьевна<sup>1</sup>, Яркова Виктория Алексеевна<sup>2</sup>, Хакимуллина Лариса Шарифовна<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Клейдман Ольга Владимировна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

elizaveta\_volkova\_4@mail.ru<sup>1</sup>, viktoriyshka10@gmail.com<sup>2</sup>, hackimullina.lara@yandex.ru<sup>3</sup>

В статье исследовалась методика механического расчета натяжения и стрел провеса проводов воздушных линий электропередач. Произведена оценка погрешности, вносимой допущениями, принятыми в рассматриваемой работе. Доказано, что предложенная методика требует уточнения.

**Ключевые слова:** механический расчет, натяжение провода, стрела провеса.

# TO THE METHOD OF MECHANICAL CALCULATION OF MOUNTING TENSION AND SAG ARROWS OF OVERHEAD POWER LINES

Volkova Elizaveta V.<sup>1</sup>, Yarkova Viktoria A.<sup>2</sup>, Hackimullina Larisa Sh.<sup>3</sup>

Scientific advisor Kleidman Olga V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

elizaveta\_volkova\_4@mail.ru<sup>1</sup>, viktoriyshka10@gmail.com<sup>2</sup>, hackimullina.lara@yandex.ru<sup>3</sup>

The article investigated the method of mechanical calculation of tension and sag arrows of overhead power lines wires. An estimate of the error introduced by the assumptions made in the work under consideration has been made. It is proved that the proposed method requires clarification.

**Keywords:** mechanical calculation, wire tension, sag boom.

На практике применяются два способа монтажа воздушных линий электропередач. Первый способ заключается в том, что при креплении проводов на опорах натяжения провода контролируются с помощью специального динамометра. В точках подвеса по ПУЭ [1;2] оно не должно превышать более, чем на 10% величины натяжения провода  $T_C$  в точке  $C$  середины пролета (рис. 1).

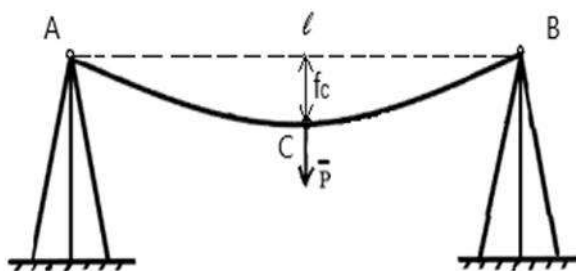


Рис. 1.

Расчет натяжения  $T_c$  проводится по известной формуле, связывающей  $T_c$  со стрелой провеса  $f_c$ :

$$T_c = \frac{ql^2}{8f_c}, \quad (1)$$

где нагрузку считают приближенно распределенной по пролету  $l$  и, следовательно, ее интенсивность равна  $q = \frac{P}{l}$ , где  $P$  – вес провода.

При втором способе по формуле (1) рассчитывают величину стрелы провеса  $f_c$ , которую контролируют при монтаже с помощью визирной рейки. Натяжение  $T_c$  определяют из условия прочности материала провода.

Для случая расположения точек подвеса на разных уровнях при монтаже линий электропередач, на пересеченной местности, существуют разные методики механического расчета проводов. Проведем оценку точности упрощенной методики расчетов, приведенных в учебном пособии [3].

В работе с целью упрощения вычислений за величину стрелы провеса провода приближенно принимается кратчайшее расстояние от точки  $C$  провода по середине пролета  $l$  до прямой  $AB$  (рис. 2).

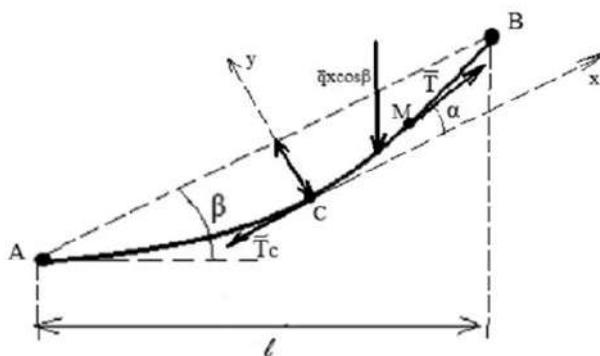


Рис. 2.

Вводится система координат с началом в точке  $C$  и направлением оси  $Cx$  параллельно прямой  $AB$ . Тогда координата  $y$  определяет величину провисания провода.

Следуя методу сечений, рассмотрим равновесие отрезка провода  $CM$  [4]. Составим уравнение моментов относительно точки  $M$  с координатами  $x$ ,  $y$  и уравнение проекций на ось  $x$ :

$$\begin{cases} -T_c y + \frac{q \cos^2 \beta}{2} x^2 = 0, \\ -T_c - q \cos \beta \sin \beta x + T \cos \alpha = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Из первого уравнения системы (2) следует уравнение провисания провода

$$y = \frac{q \cos^2 \beta}{2T_c} x^2. \quad (3)$$

Из второго уравнения системы (2) получим выражение для силы натяжения

$$T = \frac{T_c + q \cos^2 \beta \sin \beta x}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол между касательной к линии провисания в точке  $M$  и осью  $x$  является функцией  $x$ . Из формулы (4) видно, что максимальное значение

усилия  $T_{\max}$  принимает в верхней точке  $B$  при  $x = \frac{l}{2 \cos \beta}$ ,  $y = f_c$ .

Далее, следуя методике, приняв угол  $\alpha$  малым и пренебрегая им и слагаемым  $q \cos \beta \sin \beta x$  при малом угле  $\beta$ , получим

$$T_{\max} = T_c = \frac{ql^2}{8f_c}. \quad (5)$$

Учитывая, что напряжение провода  $\sigma = \frac{4T_c}{\pi d^2} = \frac{ql^2}{2f_c \cos \beta}$  и интенсивность  $q = \frac{P}{l} = \frac{\gamma \pi d^2}{4 \cos \beta}$ , где  $\gamma$  – удельный вес провода,  $d$  – его диаметр, формула прочности будет иметь вид:

$$[\sigma] \geq \frac{\gamma l^2}{8f_c \cos \beta}, \quad (6)$$

где  $[\sigma]$  – предел прочности материала провода.

В приведенном учебном пособии рассмотрен алюминиевый провод при условии  $[\sigma] = 800 \text{ кгс/см}^2$ ,  $\gamma = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $f_c = 27 \text{ см}$  при  $\beta = 0$ ,  $f_c = 31,2 \text{ см}$  при  $\beta = 30^\circ$ .

Оценим погрешность, вносимую в формулу (4) при пренебрежении углом  $\alpha$  и слагаемым  $q \cos \beta \sin \beta x$ .

Выразим  $\cos \alpha$  через  $\text{tg} \alpha$ :

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}. \quad (7)$$

Тангенс угла наклона к кривой определим через производную функции (4):

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha(x) = \frac{q \cos^2 \beta}{T_c} x. \quad (8)$$

Подставим выражение (8) в формулу (4):

$$T = (T_c + qx \cos \beta \sin \beta) \sqrt{1 + \left( \frac{q \cos^2 \beta}{T_c} x \right)^2} \quad (9)$$

При  $x = 0$  имеем  $T = T_c$ .

При  $x = \frac{l}{2 \cos \beta}$  имеем

$$T_{\max} = \left( T_c + \frac{ql \sin \beta}{2} \right) \sqrt{1 + \left( \frac{q \cos \beta}{2T_c} l \right)^2}. \quad (10)$$

Из равенства (10) следует, что при  $\beta = 0$   $T_{\max} = T_c \sqrt{1 + \left( \frac{ql}{2T_c} \right)^2}$ .

Рассмотрим пример расчета  $T_{\max}$ . Пусть из условия прочности провода  $T_c = 2$  кН,  $l = 40$  м, его вес  $P = ql = 400$  Н,  $\beta = 30^\circ$ . Тогда по формуле

$$T_{\max} = \left( 2000 + \frac{400}{4} \right) \sqrt{1 + \left( \frac{40\sqrt{3}}{4 \cdot 2000} \right)^2} = 2100 \text{ Н.} \quad (10)$$

Следовательно, погрешность расчета по формуле  $T_{\max} \approx T_c$  составляет 5%.

Вычислим стрелу провеса провода. В формуле (10) пренебрежем вторым слагаемым под радикалом (в примере оно равно 0,000075) и

подставим выражение для  $T_c = \frac{ql^2}{8f_c}$ . После преобразований получим

$$T_{\min} = T_A \approx T_c - \frac{ql \sin \beta}{2} = 2000 - \frac{400}{4} = 1900 \text{ Н}.$$

Как видим, разница натяжений в точках *A* и *B* составляет 200Н. В исследуемой работе они равны, что противоречит действительности.

$$f_c = \frac{l}{4 \left( \frac{2T_{\max}}{ql} - \sin \beta \right)} = \frac{40}{4 \left( \frac{2 \cdot 2100}{400} - \frac{1}{2} \right)} = 1 \text{ м}$$

Таким образом, полученные в работе результаты показывают необходимость уточнения анализируемой методики механического расчета проводов линий электропередач.

### Источники

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание: дата введения 08.07.2002 / Приказ Минэнерго России № 204. – 330 с.
2. Крюков К. П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. 2-е издание. // Л.: Энергия, Ленингр. отделение, 1979, 312 с.
3. Рябенков Н.Г. Основы механики. Часть 2. Сопротивление материалов: учебное пособие. // Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2009. С. 173–178.
4. Александров А. П., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов. // М.: Высш. шк., 2003, 506 с.

УДК 621.438

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Володина Софья Николаевна<sup>1</sup>, Мельникова Елизавета Андреевна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. Марьин Георгий Евгеньевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>sofi6volodina@gmail.com, <sup>2</sup>elizaveta.melnikova.2004@list.ru

В данной статье рассматривается роль и значение газотурбинных установок в нефтеперерабатывающей промышленности, а также основные технические характеристики и преимущества использования данного вида оборудования, так как установка широко применяются в промышленности для обеспечения энергетических потребностей производственных процессов.

**Ключевые слова:** газотурбинные установки, нефтеперерабатывающая промышленность, топливо, электроэнергия.

# THE USE OF GAS TURBINE INSTALLATIONS IN THE OIL REFINING INDUSTRY

Volodina Sofya N.<sup>1</sup>, Melnikova Elizaveta A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Marin G.E.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>sofi6volodina@gmail.com, <sup>2</sup>elizaveta.melnikova.2004@list.ru

This article examines the role and importance of gas turbine installations in the oil refining industry, as well as the main technical characteristics and advantages of using this type of equipment, since the installation is widely used in industry to meet the energy needs of production processes.

**Keywords:** gas turbine installations, oil refining industry, fuel, electric power.

Газотурбинные установки (ГТУ) используются во многих отраслях и в нефтеперерабатывающей промышленности, улучшая эффективное производство и минимизируя затраты на энергию. На нефтеперерабатывающих заводах они создают надежное и стабильное энергоснабжение, уменьшая отходы горения в окружающую среду (Нижекамскнефтехим, Казаньоргсинтез). ГТУ на этих предприятиях значительно, снижают эксплуатационные расходы (к.п.д. выработки энергии выше) и увеличивает конкурентоспособность предприятий [1].

ГТУ, в нефтеперерабатывающей промышленности схожи конструктивно со всеми другими ГТУ (Siemens), состоят [2, 3] из компрессора, камеры возгорания и турбины. Эксплуатация состоит в том, что в компрессор (1) ГТУ силового агрегата подается чистый воздух. Воздух дожимается компрессором и подается в камеру сгорания (2), там смешивается с топливом и подвергается зажиганию. Температурный газовый поток, расширяется внутри турбины (3) и приводит ее во вращение. Вращательная энергия передается вал турбины, вращает компрессор и электрический генератор (4). ГТУ обладают высокой эффективностью, выше, чем котлы, и поэтому широко применяются для генерации электроэнергии и привода насосов и других агрегатов на нефтеперерабатывающих производствах. Сейчас самый перспективный путь генерации энергии.

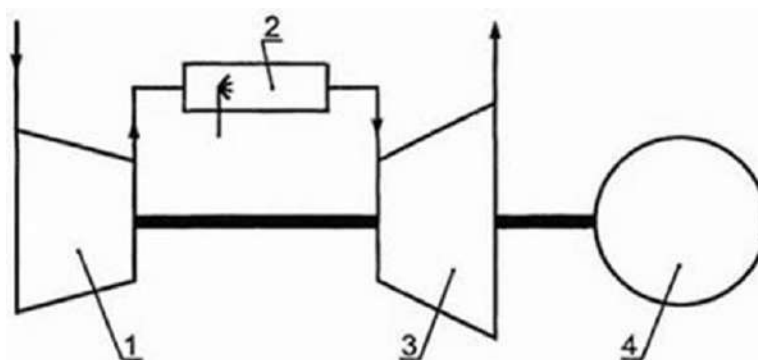


Схема работы газотурбинной установки

ГТУ активно применяются в настоящее время в нефтеперерабатывающей промышленности мира, США, Россия, Китай и Саудовская Аравия и т.д.

В Республике Татарстан ГТУ активно используются на предприятиях нефтедобычи. ОАО "Татнефть" обеспечивает свои производственные мощности ГТУ (типа ГТЭ-170.1, ГТУ НК-16СТ) для получения энергетической эффективности и экологической безопасности процессов переработки сырья. На малых предприятиях РТ повсеместно устанавливаются паровые турбины, т.к. нет возможности приобрести газовые. Мы еще раз выделяем эффективность, надежность работы [4], экономию топлива и относительно низкий уровень выбросов вредных веществ.

Надо заметить ГТУ требуют больших капитальных затрат на покупку и обслуживание. Они ограничены по работе на различных типах топлива и очень зависимы к изменениям нагрузки.

Можно сказать, ГТУ в нефтеперерабатывающей промышленности и других областях новое решение для обеспечения энергетических потребностей предприятий. Использование газотурбинных установок способствует увеличению энергетической независимости предприятий и улучшению конкурентоспособности на рынке. Необходимо добавить, внедрение ГТУ в нефтеперерабатывающую промышленность остается важным шагом к снижению негативного воздействия на окружающую среду.

### Источники

1. Соловьев И.С., Валиев Р.И., Нугманов Д.Ф., Титов А.В., Маслов И.Н. 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. 2021. С. 172-175.

2. Принцип действия газотурбинных установок (ГТУ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.gigavat.com/gtu\\_princip\\_dejstviya.php](https://www.gigavat.com/gtu_princip_dejstviya.php) (дата обращения: 19.02.2024)

3. Сахин В.В. Устройство и действие энергетических установок. Кн. 2 Газовые турбины. Теплообменные аппараты: учебное пособие; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2015 – 133 с.

4. Тараскин С.А. Повышение эффективности станций за счет установки газотурбинного оборудования // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2023. С. 778-781.

УДК 517.958

## **О ПРИЧИНЕ ПАРАДОКСА В ПРИМЕРЕ ПЭНЛЕВЕ-КЛЕЙНА**

Галиев Ильмир Рерович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

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

[Imir.galiev.031@mail.ru](mailto:Imir.galiev.031@mail.ru)

В данной статье автором рассматривается значение и сущность парадокса. Говорится о причине парадокса в примере Пэнлеве-Клейна.

**Ключевые слова:** дилемма, противоречие, алгоритм, искажение результатов, проектирование.

## **ABOUT THE CAUSE OF THE PARADOX IN THE EXAMPLE OF PENLEVE - KLEIN**

Galiev Iimir R.

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[Imir.galiev.031@mail.ru](mailto:Imir.galiev.031@mail.ru)

In this article, the author considers the meaning and essence of the paradox. And it also talks about the cause of the paradox in the example of Penleve-Klein.

**Keywords:** dilemma, contradiction, algorithm, distortion of results, designing.

Парадокс – это явление, которое противоречит обычной логике и многим научным законам. Он представляет собой своеобразную дилемму, которая является истинным вызовом для разума и логического мышления [2].

Парадоксы не только вызывают удивление, но и имеют важные практические применения. Они помогают ученым исследовать фундаментальные законы природы, провоцируя на новые и неожиданные открытия [1].

Причина парадокса в примере Пэнлеве-Клейна лежит в несоответствии между ожиданиями и реальностью. Этот парадокс возникает, когда мы ожидаем, что два небольших изменения входных данных приведут к пропорционально малым изменениям в выходных данных. Однако, в примере Пэнлеве-Клейна мы наблюдаем, как малые изменения входных данных вызывают значительные изменения в выходных данных алгоритма.

Чтобы лучше понять этот парадокс, рассмотрим пример. Предположим, что у нас есть алгоритм, который считает площадь прямоугольника. Мы знаем, что площадь прямоугольника равна произведению его сторон.

Теперь представим ситуацию, когда одна из сторон прямоугольника увеличивается на 10%. Ожидается, что площадь прямоугольника также увеличится на 10%. Однако, в примере Пэнлеве-Клейна мы обнаруживаем, что площадь прямоугольника увеличивается на 21%.

Этот парадокс вызывает удивление и затруднение в понимании, поскольку он противоречит нашим интуитивным представлениям о связи между входными и выходными данными алгоритма. Он демонстрирует, что небольшие изменения входных данных могут приводить к неожиданным и значительным изменениям в выходных данных, что делает предсказание результатов работы алгоритма сложным [3].

Понимание причины парадокса в примере Пэнлеве-Клейна имеет важное значение для разработчиков алгоритмов и исследователей в области информатики.

Парадокс позволяет нам осознать важность тщательного анализа и проверки алгоритмов на неожиданные искажения результатов. Также он подчеркивает необходимость использования более сложных методов и

техник при проектировании и тестировании алгоритмов, чтобы избежать подобных парадоксов и обеспечить более точные прогнозы и результаты.

Парадокс в примере Пэнлеве-Клейна имеет глубокие корни в энергетическом машиностроении, и открывает перед нами дверь в мир противоречий и непредсказуемости. Этот пример стал классическим источником не только для инженеров и физиков, но и для философов, позволяя нам задуматься о фундаментальных законах природы и возможностях человеческой техники.

В контексте энергетического машиностроения, парадокс Пэнлеве-Клейна поднимает важные вопросы о возможности создания энергетической установки, способной работать без поступления энергии извне. Он раскрывает пределы термодинамической эффективности и подтверждает требование внешнего энергетического воздействия для работы любой машины или системы.

Эмпирический закон "сухого" трения Кулона в примере Пэнлеве-Клейна является одним из ключевых законов в электростатике. Этот закон был впервые сформулирован французским ученым Шарлем Кулоном в XVIII веке и описывает взаимодействие между электрическими зарядами.

Пэнлеве-Клейн – это классический пример, на котором можно продемонстрировать действие "сухого" трения Кулона. В этом эксперименте два заряженных тела, обычно металлические шарики, помещаются на подвижный стержень. Когда подносят к ним еще одно заряженное тело, возникает электрическое взаимодействие, из-за которого шарики начинают двигаться.

Исследования показали, что сила трения, действующая между заряженными телами, пропорциональна квадрату напряжения между ними и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Этот закон позволяет установить зависимость между величиной зарядов и силой взаимодействия между ними.

Таким образом, эмпирический закон "сухого" трения Кулона в примере Пэнлеве-Клейна играет важную роль в изучении электрических явлений и позволяет применять его в различных практических задачах.

Таким образом, парадокс Пэнлеве-Клейна глубоко связан с законами сохранения энергии и принципами термодинамики, и он служит источником философских размышлений о границах требований энергетической системы. Он напоминает нам о неизбежности внешних ресурсов и вынуждает нас задуматься о создании более эффективных и устойчивых машин и систем в будущем.

Эмпирический закон «сухого» трения Кулона в примере Пэнлеве-Клейна символизирует зависимость силы трения от нормальной реакции. Изучение этого явления позволяет углубить знания о взаимодействии различных тел и предсказать их поведение в различных условиях. Кулоновское трение оказывает значительное воздействие на движение объектов, поэтому его изучение имеет важное значение для многих областей науки и техники.

### **Источники**

1. Painlevé P. Leçons sur le frottement. Paris: Hermann, 1885, 111 p. Пер. с фр.: Пэнлеве П. Лекции о трении. М: Гостехиздат, 1954. 316 с.

2. Хакимуллина Л.Ш., Скимель В. Н. К динамике систем с сухим трением в примере Пэнлеве-Клейна // Вестник Казан. гос. техн. ун-та им. А. Н. Туполева. 2003. № 4. С. 42-44.

3. Appel P. Traité de mécanique rationnelle. Tome deuxième. Dynamique des system`es mécanique analytique. Paris: Gauthier-villars, éditeur, 1953. Пер. с фр.: Аппель П. Теоретическая механика. Т 2. М.: Физматгиз, 1960. 487 с.

УДК 621.1:531.3

## **НАРУШЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С «СУХИМ» ТРЕНИЕМ**

Гареев Александр Юрьевич<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> sanya\_gareev01@mail.ru

В данной статье автором освещается тема, проблемы явления «сухого» трения. А также методы предотвращения.

**Ключевые слова:** «сухое» трение, износ, аварийные ситуации.

## **VIOLATIONS OF THE FUNCTIONING OF MECHANICAL SYSTEMS WITH "DRY" FRICTION**

Gareev Alexander Yu.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> sanya\_gareev01@mail.ru

In this article, the author highlights the topic, the problems of the phenomenon of “dry” friction. As well as methods of prevention.

**Keywords:** “dry” friction, wear, emergency situations.

В мире механики существует понятие «сухое» трение, которое играет значительную роль в функционировании механических систем. Нарушения в работе этих систем из-за сухого трения могут иметь серьезные последствия, и именно этой проблеме посвящена данная статья. В рамках данной темы будет рассмотрена не только природа и причины нарушений функционирования из-за сухого трения, но также будут предложены методы предотвращения и устранения этих нарушений. Разберемся в том, как важно правильное обслуживание и контроль за состоянием механических систем для обеспечения их долговечной и безопасной работы.

Основные причины нарушений функционирования. Одной из основных причин нарушений функционирования механических систем является износ элементов, вызванный сухим трением [1-3]. При недостаточной смазке или неправильном обслуживании трение между деталями может привести к ускоренному износу и повреждениям. Кроме того, вибрации и изменения температуры также оказывают влияние на трение, усиливая нарушения в функционировании системы. Не менее важным фактором является накопление мусора и загрязнений в механизмах, что приводит к ухудшению смазочных свойств и увеличению трения.

Интересно, что влияние сухого трения на работу механических систем может быть недооценено, но его последствия могут привести к серьезным поломкам и остановке оборудования [4-6]. Поэтому важно не только понимать причины нарушений функционирования из-за сухого трения, но и активно принимать меры по их предотвращению.

Последствия нарушений функционирования. Следствиями нарушений в работе механических систем из-за сухого трения могут быть серьезные повреждения деталей и механизмов. Износ элементов приводит к снижению эффективности работы системы и может вызвать аварийные ситуации, что создает реальные опасности как для оборудования, так и для людей.

Методы предотвращения и устранения нарушений. Для предотвращения нарушений в работе механических систем необходимо проводить регулярную проверку и обслуживание оборудования.

Использование современных материалов и технологий смазки поможет уменьшить трение и износ деталей.

Также важно применять специальные устройства для контроля трения и своевременно реагировать на любые отклонения в работе системы.

Заключение. В заключении следует подчеркнуть важность своевременной диагностики и обслуживания механических систем с целью предотвращения нарушений функционирования из-за сухого трения. Только правильный уход за оборудованием и использование современных технологий могут обеспечить бесперебойную и безопасную работу механических систем.

Необходимо помнить о влиянии износа, накоплении мусора, вибраций и температурных изменений на трение в механических системах и принимать меры для их минимизации.

Эффективное управление рисками, связанными с нарушениями функционирования из-за сухого трения, включает в себя регулярное техническое обслуживание, использование качественных смазочных материалов и внимательный контроль за состоянием оборудования.

Только таким образом можно обеспечить долговечность и надежность работы механических систем, а также предотвратить непредвиденные аварийные ситуации, которые могут нанести ущерб как оборудованию, так и безопасности окружающих.

## **Источники**

1. Хакимуллина Л. Ш. О проблеме учета эмпирического закона "сухого" трения в динамике эллиптического маятника // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 3-4. С. 62-67.

2. Хакимуллина Л. Ш. К вопросу о причине парадокса в примере Пэнлеве–Клейна // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник докладов, Казань, 20–24 августа 2015 года / Составители: Д.Ю. Ахметов, А.Н. Герасимов, Ш.М. Хайдаров; ответственные редакторы: Д.А. Губайдуллин, А.И. Елизаров, Е.К. Липачев. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2015. С. 3972-3973.

3. Хакимуллина Л. Ш. О неединственности движений в динамике систем с сухим трением // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: Сборник трудов. В 4-х томах, Уфа, 19–24 августа 2019 года. Том 1. Уфа: Башкирский государственный университет, 2019. С. 138-140.

4. Хакимуллина Л. Ш. Интерактивные методы обучения применительно к дисциплине "Теоретическая механика" // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2014. № S. С. 288-295.

5. Khakimullina L. S. The Method of Calculating the Optimal Shape of the Electrode-Tool for Electrochemical Treatment of Gas Turbine Engine Blades // Key Engineering Materials. 2022. Vol. 910 КЕМ. P. 290-295. DOI 10.4028/p-avs01f.

6. Хакимуллина Л. Ш., Скимель В. Н. К динамике систем с сухим трением в примере Пэнлеве–Клейна // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2003. № 4. С. 42-44.

УДК 621.311

## **ЭНЕРГЕТИКА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПОСЛЕ ГАЗИФИКАЦИИ**

Гареев Александр Юрьевич<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> sanya\_gareev01@mail.ru

В данной статье автором освещается тема, связанная с проведением газификации в Красноярском крае и последующими изменениями в развитии энергетической инфраструктуры.

**Ключевые слова:** энергетическая безопасность, газификация, энергоэффективность, энергоснабжение.

## **ENERGY INDUSTRY OF THE KRASNOYARSK TERRITORY AFTER GASIFICATION**

Gareev Alexander Yu.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> sanya\_gareev01@mail.ru

In this article, the author highlights the topic related to gasification in the Krasnoyarsk Territory and subsequent changes in the development of energy infrastructure.

**Keywords:** energy security, gasification, energy efficiency, energy supply.

Современное состояние энергетики Красноярского края характеризуется зависимостью от традиционных источников энергии [1-3]. Однако завершение процесса газификации открывает новые перспективы для развития энергетики региона [4-6]. В данной статье рассмотрим возможные направления развития энергетики Красноярского края после завершения газификации.

**Увеличение энергетической безопасности.** Для обеспечения устойчивости энергоснабжения необходимо диверсифицировать источники энергии. Красноярский край, обладая значительными природными ресурсами, имеет потенциал для развития различных источников энергии, включая гидроэнергию, солнечную и ветровую энергию. Диверсификация источников энергии поможет снизить зависимость от одного типа топлива и повысит устойчивость энергетических систем региона.

**Развитие альтернативных источников энергии.** Использование солнечной, ветровой и гидроэнергетики может стать важным шагом в сокращении зависимости от традиционных источников энергии. Красноярский край обладает значительным потенциалом для развития альтернативных источников энергии, благодаря своим природным ресурсам. Например, солнечная энергия может быть активно использована в летние месяцы, а гидроэнергетика - на реках и водохранилищах региона. Проекты по внедрению альтернативных источников энергии не только способствуют снижению выбросов парниковых газов, но и создают новые возможности для развития экологически чистой энергетики в Красноярском крае.

**Повышение энергоэффективности.** Внедрение мер по снижению потребления энергии в различных секторах экономики и жилищно-коммунальном хозяйстве станет важным шагом в повышении энергоэффективности региона. Программы по энергоаудиту и модернизации энергосистем позволят сократить потребление энергии и оптимизировать ее использование. Красноярский край может внедрить инновационные технологии, например, системы умного управления энергопотреблением, энергоэффективные решения в строительстве и промышленности, что поможет не только экономить энергию, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду [1-3]. Поддержка государства, активное вовлечение бизнес-сообщества и обучение населения в вопросах энергосбережения будут способствовать успешной



реализации программ по повышению энергоэффективности в Красноярском крае.

**Заключение.** После завершения процесса газификации Красноярского края открываются широкие возможности для развития энергетики региона. Увеличение энергетической безопасности, развитие альтернативных источников энергии и повышение энергоэффективности являются ключевыми направлениями, которые могут сделать энергетику Красноярского края более устойчивой, экологически чистой и инновационной. Вместе с тем, необходимо активное взаимодействие государственных органов, бизнес-сообщества и общественности для успешной реализации этих стратегических целей. Развитие энергетики Красноярского края после газификации представляет собой важный шаг на пути к устойчивому и экологически ответственному энергетическому будущему региона [4-6]. По мнению авторов выполнение масштабной работы по газификации Красноярского края позволит перейти от сжигания угля на теплоэлектростанциях к газотурбинным установкам, сжигающих газ что менее вредно для экологии. Предлагается строительство тепловых электрических станций оснащённых современными отечественными газотурбинными установками с целью обеспечения энергетической безопасности страны. В данном случае я бы выбрал ГТЭ-65. Для обеспечения манёвренности и мобильности станций.

### **Источники**

1. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Эксергетическая эффективность угольных малых теплоэлектростанций как критерий перспективности их широкого использования // Химия твердого топлива. 2009. № 1. С. 64-69.

2. 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.

3. Мингалеева Г.Р., Гайнетдинов А.В., Шакиров Р.Р., Ахметов Э.А. Сравнительный анализ способов снижения вязкости водоугольных топлив // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 37-46.

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.

5. 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.

6. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

УДК 621.31

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В МИКРОРАЙОНЕ**

Гарипов Марат Илшатович<sup>1</sup>, Петров Дэнис Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> marat-garipov-2016@mail.ru, <sup>2</sup> denis200233@yandex.ru

Прогнозирование потребления энергетических ресурсов является важной задачей для энергетических компаний и организаций, чтобы эффективно планировать производство и распределение разных видов энергии. Эффективное прогнозирование потребления ресурсов помогает оптимизировать производство и распределение энергии, уменьшить издержки и повысить энергетическую эффективность.

**Ключевые слова:** энергоресурсы, микрорайон, прогнозирование, анализ.

## **FORECASTING ENERGY CONSUMPTION RESOURCES IN THE NEIGHBORHOOD**

Garipov Marat I.<sup>1</sup>, Petrov Denis N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>marat-garipov-2016@mail.ru, <sup>2</sup>denis200233@yandex.ru

Forecasting the consumption of energy resources is an important task for energy companies and organizations in order to effectively plan the production and distribution of different types of energy. Effective forecasting of resource consumption helps to optimize energy production and distribution, reduce costs and increase energy efficiency.

**Keywords:** energy resources, microdistrict, forecasting, analysis.

Прогнозирование потребления энергетических ресурсов в микрорайоне – это сложный процесс, который включает в себя множество факторов. Вот основные шаги, которые обычно предпринимаются для прогнозирования потребления энергии:

**Сбор данных:** Сначала необходимо собрать данные о текущем потреблении энергии в микрорайоне [1-3]. Это может включать в себя данные о потреблении энергии в каждом доме, данные о погоде, данные о типе и количестве зданий в микрорайоне, и т.д.

**Анализ данных:** После сбора данных необходимо провести анализ, чтобы понять, какие факторы влияют на потребление энергии. Например, можно изучить, как погода влияет на потребление энергии, или как тип здания влияет на потребление энергии [4-6].

**Моделирование:** На основе анализа данных можно создать модель, которая будет предсказывать потребление энергии в будущем. Модель может быть простой, например, линейной регрессией, или более сложной, например, нейронной сетью.

**Оценка модели:** После создания модели необходимо оценить ее точность. Это можно сделать, сравнивая прогнозы модели с реальными данными о потреблении энергии.

**Корректировка модели:** Если модель не очень точна, можно внести корректировки в модель, чтобы улучшить ее точность.

**Использование модели:** После того, как модель была создана и откорректирована, ее можно использовать для прогнозирования потребления энергии в будущем.

Важно отметить, что прогнозирование потребления энергии - это сложный процесс, который требует большого количества данных и специализированных знаний. Поэтому для выполнения этой задачи часто привлекаются эксперты в области энергетики и статистики.

## **Источники**

1. 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.

2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.

4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

УДК 621.31

## ПУСК ГТУ ГИДРОДВИГАТЕЛЕМ

Гарипов Марат Илшатович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц, Маслов Игорь Николаевич

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

<sup>1</sup>marat-garipov-2016@mail.ru

В данной статье речь идет о запуске ГТУ с помощью гидравлического двигателя. Это может быть необходимо в случаях, когда нет возможности использовать другие способы запуска, например, электрический стартер или пневматический стартер.

**Ключевые слова:** двигатель, гидродвигатель, газотурбинная установка, стартер.

## STARTING A GAS TURBINE UNIT WITH A HYDRAULIC MOTOR

Garipov Marat I.

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>marat-garipov-2016@mail.ru

In the context of starting a GTU with a hydraulic motor, we are talking about starting a gas turbine unit using a hydraulic engine. This may be necessary in cases where it is not possible to use other starting methods, for example, an electric starter or a pneumatic starter.

**Keywords:** engine, hydraulic motor, gas turbine unit, starter.

Для запуска газотурбинных установок (ГТУ) используют различные типы турбоприводов [1-3]. Некоторые из наиболее распространенных типов включают в себя использование электрических моторов (электродвигателей), гидравлических двигателей (гидродвигателей) или даже воздушных (воздушных турбин) [4-6].

**Электродвигатели:** Для запуска ГТУ используются электромоторы, которые крутят вал турбин. Это часто используемый метод запуска ГТУ.

**Гидродвигатели:** Также можно использовать гидравлические двигатели для запуска ГТУ. Гидродвигатели наполняются жидкостью под давлением, что создает силу для вращения турбины.

**Воздушные турбины:** Иногда для запуска ГТУ могут использоваться воздушные турбины, питаемые сжатым воздухом или другими газами.

Каждый из этих методов имеет свои плюсы и минусы, и выбор турбопривода зависит от специфики установки и требований к запуску ГТУ. В рамках исследования остановимся на гидродвигателе и рассмотрим его характеристики

Гидродвигатель – это устройство, которое используется для запуска газотурбинного установок (ГТУ). Он состоит из гидравлического насоса и двигателя, которые управляются электронной системой. Гидродвигатель создает необходимое давление и приводит в движение вал ГТУ, что позволяет запустить установку.

Использование гидродвигателя для запуска ГТУ имеет ряд преимуществ:

1. Компактность: размеры и масса гидродвигателя относительно невелики, что облегчает его компоновку в составе ГТУ.

2. Низкие числа оборотов: гидродвигатель работает на относительно низких оборотах, что исключает необходимость в дополнительных понижающих передачах.

3. Надежность: данные моторы обладают повышенной надежностью и имеют большой моторесурс.

4. Эффективность: гидромоторы обладают большим КПД, что позволяет эффективно использовать данный тип привода.

5. Универсальность: гидравлические двигатели могут работать с различными типами жидкостей, что расширяет возможности их применения.

К недостаткам гидростартера следует отнести:

1) относительную сложность объемных гидромашин типа плунжерных гидромоторов и гидронасосов;

2) меньшую удельную массу системы с гидропередачей по сравнению с удельной массой других систем лишь при небольшой мощности, поэтому они нашли применение, в основном, для наземных ГТУ.

В заключение хотелось бы отметить, что использование гидромотора для запуска ГТУ является весьма целесообразным решением, обеспечивающим надежность, эффективность и компактность системы. Такой способ запуска ГТУ может быть использован в различных отраслях, где требуется надежное и эффективное оборудование, например, в энергетике, нефтегазовой промышленности, судостроении и т.д.

## Источники

1. 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.

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.

3. 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.

4. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

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.

6. 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.

УДК 621.438

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГТУ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КПД**

Гильмутдинов Рамиль Рафисович

Науч.рук.кан.тех.наук, доцент Маслов Игорь Николаевич  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>rr6683054@gmail.com

Моделирование газотурбинных установок (ГТУ) представляет собой процесс создания компьютерной модели, которая имитирует и анализирует работу газотурбинной установки в различных условиях эксплуатации. ГТУ являются сложными системами, включающими в себя газовую турбину, компрессоры, горелки и теплообменники. В связи с чем в данной статье мы рассмотрим процесс моделирования ГТУ, а также вариант моделирования ГТУ с целью повышения КПД.

**Ключевые слова:** моделирование ГТУ, повышение КПД, потери энергии, эффективность, оптимизация работы.

## **MODELING OF GTU IN ORDER TO INCREASE EFFICIENCY**

Gilmutdinov Ramil R.

Scientific director, Associate Professor Maslov Igor N.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
rr6683054@gmail.com

Modeling of gas turbine installations (GTU) is the process of creating a computer model that simulates and analyzes the operation of a gas turbine installation in various operating conditions. GTU are complex systems that include a gas turbine, compressors,

burners and heat exchangers. In this regard, in this article we will consider the process of GTU modeling, as well as a variant of GTU modeling in order to increase efficiency.

**Keywords:** GTU modeling, efficiency improvement, energy loss, efficiency, optimization of work.

Моделирование ГТУ является неотъемлемой частью проектирования и оптимизации этих установок [1-3]. Во-первых, модель позволяет оценить технические характеристики ГТУ, такие как мощность, КПД, расход топлива и выбросы вредных веществ, в зависимости от различных факторов, таких как температура воздуха на входе, давление топлива и обороты турбины. Это позволяет инженерам улучшить проект ГТУ и достичь необходимых параметров производительности.

Во-вторых, моделирование ГТУ позволяет проводить исследования различных режимов работы установки. Например, можно изучить, как изменение параметров работы компрессора или теплообменника влияет на производительность ГТУ или какие изменения нужно внести в горелку для улучшения сгорания топлива. Такие исследования могут помочь оптимизировать работу ГТУ, увеличить ее КПД и снизить выбросы вредных веществ [4-6].

При моделировании газотурбинных установок (ГТУ) существует два основных метода: математическое моделирование и использование программного обеспечения.

Математическое моделирование базируется на физических уравнениях, которые описывают процессы внутри ГТУ. Этот подход позволяет создавать абстрактные модели, которые детально описывают работу установки. При этом требуется высокий уровень технической компетенции и математических навыков для разработки и анализа моделей.

Использование программного обеспечения предоставляет возможность создания визуализации ГТУ и проведения различных расчетов и оптимизаций. Специализированные компьютерные программы, такие как MATLAB, ANSYS Fluent, Aspen HYSYS и другие, значительно облегчают процесс моделирования и анализа. Они делают моделирование более доступным и удобным, позволяя проводить быстрые расчеты и визуализацию результатов.

Мой опыт показывает, что оба подхода имеют свои преимущества и ограничения. Математическое моделирование обеспечивает глубокое понимание физических процессов и точность моделей, но требует значительных усилий для разработки. С другой стороны, использование программного обеспечения делает процесс моделирования более эффективным и удобным, но может требовать специальных навыков для работы с программами и менее детализированных моделей.[2-5].



Поведение газотурбинной установки во время работы модели можно анализировать с помощью различных показателей, таких как распределение давления, температуры и скорости потока внутри установки. Также можно изучать взаимодействие между различными компонентами ГТУ и оптимизировать их работу для достижения максимальной эффективности.

Моделирование ГТУ имеет широкий спектр применений, от проектирования новых установок до оптимизации работы уже существующих. Моделирование газотурбинных установок играет важную роль в развитии энергетической отрасли и обеспечении надежного и экономичного энергоснабжения. Оно способствует более глубокому пониманию процессов, которые происходят внутри газотурбинных установок, а также позволяет повысить их производительность и экологическую безопасность.

Увеличение КПД ГТУ имеет ряд важных преимуществ. Во-первых, это позволяет снизить потребление топлива, что способствует экономии ресурсов и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Во-вторых, повышение КПД ГТУ может привести к увеличению производительности и надежности системы, что особенно важно в случае работы на критически важных объектах или в условиях повышенной нагрузки [1, 2, 5, 6].

Для достижения поставленной цели проводится комплексное моделирование ГТУ, включающее в себя разработку математических моделей, анализ тепловых и газодинамических процессов, а также оптимизацию работы системы. При моделировании учитываются различные параметры, такие как давление, температура, расход воздуха и топлива, а также характеристики используемых материалов.

Одним из основных направлений моделирования ГТУ является исследование и оптимизация параметров сжигания топлива. Это включает в себя изучение взаимодействия горючего и окружающего воздуха, определение оптимального соотношения смеси, а также минимизацию потерь тепла. Также важным аспектом является оптимизация работы компрессора и турбины, что позволяет увеличить эффективность ГТУ в целом [1].

Проведение моделирования ГТУ с целью повышения КПД требует не только высокого уровня технической компетенции и математических навыков, но и использования специализированного программного обеспечения. Современные инструменты моделирования позволяют проводить сложные расчеты и имитировать различные рабочие условия, что обеспечивает более точные результаты и возможность протестировать различные варианты оптимизации.

Таким образом, моделирование газотурбинных установок с целью повышения КПД является важной задачей, которая способствует развитию

энергетики и повышению эффективности использования ресурсов. Этот процесс требует высокой квалификации специалистов и использования современных методов и инструментов моделирования.

### Источники

1. 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.

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. 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.

4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846. EDN YOQBQC.

5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74. EDN WZUNXL.

6. 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.

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБУЧЕНИИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ И КОНСТРУИРОВАНИИ ГТУ**

Гильмутдинов Рамиль Рафисович

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

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

rr6683054@gmail.com

Статья описывает использование компьютерных технологий в обучении теоретической механике и их применение в проектировании газотурбинных установок. Обсуждается моделирование механических систем, решение задач с помощью компьютеров и обучение программированию. Акцентируется внимание на важности виртуальных лабораторий и автоматизированного проектирования. Отмечено, что использование компьютерных технологий улучшает качество обучения, ускоряет проектирование и снижает затраты.

**Ключевые слова:** теоретическая механика, моделирование механических систем, газотурбинные установки, анализ и оптимизация, процесс проектирования.

## **APPLICATION OF COMPUTER TECHNOLOGIES IN TEACHING THEORETICAL MECHANICS AND DESIGN OF GTU'S**

Gilmutdinov Ramil R.

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rr6683054@gmail.com

The article describes the use of computer technologies in teaching theoretical mechanics and their application in the design of gas turbine installations. The modeling of mechanical systems, solving problems using computers and learning programming are discussed. Attention is focused on the importance of virtual laboratories and computer-aided design. It is noted that the use of computer technology improves the quality of education, accelerates design and reduces costs.

**Keywords:** theoretical mechanics, modeling of mechanical systems, gas turbine installations, analysis and optimization, design process.

В современном образовании и инженерной практике компьютерные технологии становятся все более важным инструментом для преподавания

и применения теоретической механики и конструирования газотурбинных установок (ГТУ) [1-3]. Эти технологии не только улучшают понимание основных принципов механики и проектирования, но и значительно расширяют возможности анализа, моделирования и оптимизации различных инженерных систем.

Важной составляющей современной инженерной практики является разработка специализированных компьютерных технологий, способных эффективно решать задачи проектирования и анализа сложных технических систем, включая ГТУ. Это включает разработку программного обеспечения для моделирования тепловых и аэродинамических процессов, систем автоматизированного проектирования и управления проектами.

В контексте конструирования ГТУ компьютерные технологии играют решающую роль во всех этапах проектирования и разработки. Они позволяют инженерам моделировать тепловые и аэродинамические процессы внутри установки, оптимизировать ее конструкцию и параметры, а также проводить различные тесты и анализы без необходимости физического создания прототипов [4-6].

Сегодня основной стратегией повышения эффективности всех процессов, связанных с созданием конкурентоспособной продукции, включая газотурбинные двигатели (ГТД), является широкое внедрение передовых информационных CALS-технологий. Это включает в себя эффективное использование систем автоматизированного проектирования, расчета и управления проектами на различных этапах жизненного цикла продукции, начиная от конструирования и заканчивая утилизацией.

Для успешного внедрения CALS-технологий на всех этапах жизненного цикла продукции, включая маркетинг, проектирование, технологическую подготовку производства, производство, испытания, эксплуатацию и утилизацию, необходимо создание единого информационного пространства. Это информационное пространство должно объединять научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, технологические процессы производства, интегрируя все используемые CALS-технологии во взаимосвязанную среду.

В проектировании газотурбинных двигателей (ГТД) одной из наиболее сложных задач является обеспечение необходимых жесткостных и динамических характеристик системы "ротор - корпус" для соблюдения допустимых запасов по критическим частотам вращения. Возникновение резонансных состояний роторов в рабочем диапазоне приводит к увеличению уровня вибрации двигателя, а длительная эксплуатация на

резонансных режимах может вызывать дефекты подшипников, рабочих лопаток и замковых соединений [3].

Современные системы проектирования позволяют более точно определять критические частоты вращения роторов, обеспечивая высокую надежность частотной отстройки и сокращая время экспериментальной доводки ГТД.

Проектирование газотурбинных двигателей - задача сложная и многоэтапная, требующая гармоничного взаимодействия всей команды разработчиков. В этом процессе важную роль играют PDM-система Teamcenter Engineering и CAD-система 3D-моделирования высокого уровня Unigraphics, которые обеспечивают эффективные средства и процессы для коллективной работы инженеров [1].

С помощью интегрированных средств Teamcenter Engineering и Unigraphics, инженеры могут параллельно работать в рамках единой концепции и общих требований к изделию. Эти системы позволяют использовать единую базу данных, что способствует согласованной и структурированной работе команды.

Благодаря этой интеграции, разработчики могут эффективно взаимодействовать, обмениваться данными и информацией, управлять версиями и изменениями, а также ускорять процесс разработки, сокращая время и затраты на проектирование газотурбинных двигателей.

Автор данного исследования внес существенный вклад в изучение и описание роли компьютерных технологий в современной инженерной практике. Его работа состоит в анализе и систематизации существующих подходов к использованию компьютерных технологий в проектировании и разработке газотурбинных установок. Автор осветил значимость этих технологий на всех этапах производственного процесса и выделил ключевые аспекты, способствующие повышению эффективности и качества конструирования ГТУ.

Таким образом, применение CALS-технологий при проектировании ГТД позволяет создать необходимые условия для обеспечения прочностной надежности при значительном сокращении сроков и затрат на экспериментальную доводку, а также при устранении дефектов проекта. Программные комплексы инженерного анализа играют ключевую роль в этом процессе, обеспечивая точные и надежные результаты, подтверждающие правильность проектирования и функционирования ГТД.

### Источники

1. Хакимуллина Л. Ш. Опыт разработки и применения компьютерных технологий в курсе теоретической механики // Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество: Материалы VIII Всероссийской научно-методической конференции. Том 2. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018. С. 145-150.
2. Хакимуллина Л. Ш. Интерактивные методы обучения применительно к дисциплине "Теоретическая механика" // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2014. № 5. С. 288-295.
3. Хакимуллина Л. Ш. О некоторых особенностях учета сил трения в динамике механизмов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 96-101. EDN SAWUSV.
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.
5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.
6. 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.

УДК 662.76

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА ИЗ НИЗКОСОРТНОГО УГЛЯ В ГТУ

Гильмутдинова Резеда Исхаковна<sup>1</sup>, Клейн Евгений Васильевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>gilmutdinovarz@gmail.com, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

В статье рассматривается использование генераторного газа, полученного из низкосортного угля, в газовых турбинных установках. Описываются преимущества такого подхода, включая высокую теплотворную способность газа, гибкость в выборе

топлива и снижение выбросов вредных веществ. Также упоминается необходимость специального оборудования для использования генераторного газа и затраты на газификацию угля. В заключение отмечается, что использование генераторного газа является перспективным направлением в энергетике, но требует дополнительных исследований для повышения эффективности.

**Ключевые слова:** генераторный газ, уголь, газификация угля.

## THE USE OF GENERATOR GAS FROM LOW-GRADE COAL IN GTU

Gilmutdinova Rezeda I.<sup>1</sup>, Klein Evgeny V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>gilmutdinovarz@gmail.com, <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

The article discusses the use of generator gas obtained from low-grade coal in gas turbine installations. The advantages of this approach are described, including high calorific value of gas, flexibility in fuel selection and reduction of emissions of harmful substances. It also mentions the need for special equipment for the use of generator gas and the cost of coal gasification. In conclusion, it is noted that the use of generator gas is a promising direction in the energy sector, but requires additional research to improve efficiency.

**Keywords:** generator gas, coal, coal gasification.

Благодаря большим запасам низкосортного угля в природе, применение угля в промышленности преимущественно возрастает.

Генераторный газ – это своего рода топливо, которое получается при переработке твердого горючего материала в условиях недостатка кислорода. В результате этого процесса образуется смесь газов, которые можно использовать для получения энергии. Использование генераторного газа в газотурбинных установках (ГТУ) является перспективным направлением, поскольку позволяет эффективно сжигать низкосортный уголь, снижая при этом выбросы вредных веществ [1].

Можно выделить следующие преимущества использования генераторного газа [2]:

– Возможность использования низкосортного угля: Генераторный газ может быть получен из угля низкого качества, который не подходит для прямого сжигания в ГТУ. Это позволяет использовать более дешевое и доступное топливо.

– Снижение выбросов вредных веществ: Генераторный газ содержит меньше вредных веществ, таких как оксиды серы и азота, по сравнению с

продуктами сгорания угля. Это приводит к улучшению экологических показателей ГТУ.

– Применение генераторного газа в газовых турбинах повышает их эффективность благодаря более эффективному сжиганию топлива и уменьшению тепловых потерь.

На данный момент в мире нет ни одной газотурбинной установке, которая бы полностью работала на генераторном газе.

Эффективность низкосортного угля можно повысить с помощью газификации [3].

Состав генераторного газа может варьироваться в зависимости от типа используемого угля, температуры процесса и соотношения между количеством топлива и количеством воздуха [4].

Генераторный газ можно использовать в газовых турбинах в качестве основного или дополнительного топлива. В случае использования генераторного газа в качестве основного топлива необходимо предварительно очистить его от пыли, смол и других примесей [5]. Очищенный генераторный газ сжигается в камере сгорания ГТУ, выделяя тепло, которое приводит в действие турбину.

Низкосортное уголь, как правило, имеет низкую калорийность, что делает его не очень привлекательным для прямого использования в котлах или печах. Однако, из-за его, относительно высокого, содержания углерода, он может быть использован для получения генераторного газа. В результате газификации получается генераторный газ, который состоит преимущественно из водорода и монооксида углерода.

Однако, для использования генераторного газа требуется специальное оборудование, которое должно обеспечивать высокую степень очистки газа от вредных примесей. Кроме того, процесс газификации угля требует значительных затрат энергии, что может снизить общую эффективность использования генераторного газа [6].

Так же встаёт вопрос оборудования, в котором будет производиться сжигание генераторного газа. Из-за возможного высокого содержания водорода в газе температуры в камере сгорания и далее по тракту турбины могут быть выше, чем может выдержать материалы, из которых изготовлена ГТУ. Так же изменится и газодинамика в тракте турбины из-за того, что изменяется расход топлива при использовании генераторного газа в сравнении с природным. Все эти нюансы требуют проведения расчётов, для того что бы понять может ли ГТУ работать на генераторном газе, и в случае если не может, то необходимо рассчитать необходимые модернизации.

Использование генераторного газа в ГТУ является перспективным направлением, которое позволяет эффективно использовать низкосортный



уголь, снижать выбросы вредных веществ и повышать эффективность газотурбинных установок. Развитие технологий газификации угля и совершенствование систем очистки генераторного газа будут способствовать дальнейшему внедрению этого метода в энергетике.

### Источники

1. Генераторный газ и его использование в газовых турбинах: перспективы и проблемы // Энергетика и промышленность. – 2018. – № 2. – С. 10-14.
2. Преимущества использования генераторного газа для газовых турбин // Теплоэнергетика. – 2020. – № 1. – С. 5-10.
3. Пряткина В. С. и др. Газификация угля и ее применение в энергетике // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2018. – № 3 (199). – С. 42-47.
4. Особенности газификации угля и получения генераторного газа // Промышленная энергетика. - 2019. - № 3. - С. 32-37.
5. Снижение выбросов вредных веществ при использовании генераторного газа // Экология и промышленность России. – 2021. – № 4. – С. 40-44.
6. Савина М.В., Тимофеева С.С. Разработка схемы использования генераторного газа из низкосортного угля в ПГУ // Вестник КГЭУ. 2021. №2 (50).

УДК 665.62

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСОВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ СЛОЖНЫХ СМЕСЕЙ С СОДЕЖАНИЕМ ЖИДКОЙ, ТВЕРДОЙ И ГАЗООБРАЗНОЙ ФАЗ

Готин Ярослав Сергеевич<sup>1</sup>, Лаптев Сергей Александрович<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>gdnsbr@gmail.com, <sup>2</sup>laptserg@yandex.ru

Рассмотрены в сравнении основные типы насосов, способные перекачивать сложные смеси.

**Ключевые слова:** насосы, жидкость с газом, жидкость с газом и твердыми включениями.

## ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF PUMPS FOR PUMPING COMPLEX MIXTURES CONTAINING LIQUID, SOLID AND GASEOUS PHASES

Gotin Yaroslav S.<sup>1</sup>, Laptev Sergey A.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>2</sup>KNRTU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>gdnsbr@gmail.com, <sup>2</sup>laptserg@yandex.ru

The main types of pumps capable of pumping complex mixtures are considered in comparison.

**Keywords:** pumps, liquid with gas, liquid with gas and solid inclusions.

Перекачиваемые среды по фазовому составу можно классифицировать на: однофазные (содержат только жидкую фазу); двухфазные (содержат жидкую и твердую или жидкую газообразную фазу); трехфазные (содержат жидкую, твердую и газообразную фазы).

Различные отрасли промышленности, такие как нефтедобыча, нефтепереработка, пищевая и микробиологическая промышленность, нуждаются в специализированном насосном оборудовании для перекачивания смесей с высоким содержанием газа. Важно отметить, что для потребителя ключевым фактором является максимальное содержание газа в смеси, а не только экономичность насоса [1].

Для перекачки жидких сред с включениями твердой и газообразной фаз разработаны разнообразные конструкции насосов, среди которых можно отметить такие как центробежный лопастной, винтовой и дисковый. В самих этих типах присутствует масса модификаций, которые направлены на решение конкретных задач, в зависимости от транспортируемой среды в особенности, если требуется перекачивать сложные смеси.

Наиболее популярными в настоящее время являются традиционные центробежные насосы для газожидкостных смесей со скоростью вращения рабочего колеса от 35 до 1200 об/мин. Однако они, как правило, менее эффективны и могут не работать, если содержание газа слишком велико. Это приводит к экономическим потерям, превышающим стоимость насосного оборудования. Чтобы избежать потерь производительности, часто используют специальное оборудование.

При использовании современных конструкций двухвинтовых насосов между винтами обеспечиваю плотный контакт, чем обеспечивается герметичность, что позволяет исключить перемешивание и измельчение среды во время перекачки насосом [2]. Небольшой ход при значительном количестве шагов обеспечивает плавность в работе насоса при большой степени сжатия газа.

Для сред, которые должны транспортироваться в щадящем режиме, подходят дисковые насосы. Дисковые насосы подразделяются на насосы с ламинарным течением и насосы с турбулентным течением. Существуют модификации дисковых насосов минимальным возмущением потока и есть конструкции, полностью исключают возмущение потока.

В литературных источниках есть сравнительные характеристики дискового и лопастного насосов, выполненных с одинаковой геометрией проточной части. Кавитационные характеристики дискового насоса значительно лучше, т.к. дисковый насос может работать при более низких давлениях без признаков кавитации. Напорные характеристики и КПД у дискового насоса могут превосходить лопастной насос только в зоне малых подач [3].

Комплексные исследования гидродинамики, а также прочностных характеристик различных насосов и их элементов, в том числе и численными методами для различных сложных мультифазных сред позволит обоснованно подходить к проектированию и модификации насосного оборудования [4-8].

### **Источники**

1. Бажайкин С.Г. Исследование характеристик и модернизация насосных агрегатов нефтяных промыслов: специальность 05.04.07: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Бажайкин Станислав Георгиевич. – Уфа, 2000. – 35 с.

2. Патент на полезную модель № 92489 U1 Российская Федерация, МПК F04C 2/16. Насос двухвинтовой для перекачивания высоковязких многофазных сред: № 2009130862/22: заявл. 12.08.2009: опубл. 20.03.2010 / Ю. И. Беляев, А. Г. Шиляев.

3. Мисюра В.И., Овсянников Б.В., Присняков В.Ф. Дисковые насосы. – М.: Машиностроение, 1986. – 112 с.

4. Петрова Е. Н., Слабожанинов М.В. Применение дисковых насосов в ЖРД / Е. Н. Петрова, // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации. – 2021. – Т. 2. – С. 154-157.

5. Mansour, Michael & Thévenin, D.. (2023). State of the Art on Two-Phase Non-Miscible Liquid/Gas Flow Transport Analysis in Radial Centrifugal Pumps Part B: Review of Experimental Investigations. International Journal of Turbomachinery, Propulsion and Power. 8. 42. 10.3390/ijtp8040042.

6. Лаптев С.А. Анализ возможных структур вихревого газожидкостного потока в аппарате и получение обобщенных зависимостей // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2020. – Т. 12-2. – С. 132-139.

7. Ютанова А.А., Клейдман М.Д. Анализ НДС на основе МКЭ цельнокованого ротора турбины при действии эксплуатационных нагрузок с учётом дефектов в осевом канале // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов: в 3 т., Казань, 06–07 декабря 2022 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 184-187.

8. Клейдман О.В., Клейдман М.Д. Анализ усталостной долговечности образца - свидетеля истории нагружения диска паровой турбины в расчётном комплексе NCODE for ANSYS // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов, Тюмень, 20–22 декабря 2023 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. – С. 60-63.

УДК 62.135

## ВИБРАЦИОННАЯ НАДЁЖНОСТЬ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Грищенко Даниил Викторович

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Клейдман Ольга Владимировна

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

danya\_grischenko2003@mail.ru

В работе представлен пример аналитического определения вибрационных напряжений и коэффициента запаса усталостной прочности лопаточного аппарата паровой турбины.

**Ключевые слова:** лопатки турбин, напряжения, вибрационная надёжность, частота колебаний, запас усталостной прочности.

# VIBRATION RELIABILITY OF TURBOMACHINE BLADES

Grishchenko Daniil V

Scientific advisor Kleidman Olga V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

danya\_grishchenko2003@mail.ru

The paper presents an example of the analytical determination of vibration stresses and the fatigue safety factor of a steam turbine blade apparatus.

**Keywords:** turbine blades, stress, vibration reliability, oscillation frequency, fatigue strength margin.

Тема вибрационной надежности лопаток турбомашин является крайне актуальной и важной в современном машиностроении. По мере увеличения мощности и скорости работы турбомашин, например, газотурбин, увеличивается их чувствительность к вибрации, что может привести к разрушению лопаток и аварийному отказу оборудования [1,2]. Высокочастотные лопатки из-за различий в частотах могут оказаться в зонах резонанса, что следует учитывать при оценке надежности системы. Метод отстройки лопаток от резонанса является эффективным способом повышения надежности венцов, однако в некоторых случаях это может быть невозможно. Важно учитывать, что не все резонансные состояния одинаково опасны, поэтому необходимо анализировать напряжения при колебаниях [3], чтобы оценить риск разрушения.

Цель работы – оценить аналитические методы определения вибрационных напряжений и запаса усталостной прочности лопатки регулирующей ступени паровой турбины при следующих исходных данных: средняя собственная частота колебаний пакетов лопаток по тону  $A_0 f_D = 3300$  Гц; разброс частот пакетов на колесе  $\Delta f = \pm 0,15 f_D$ ; статические номинальные изгибные напряжения в корневом сечении у выходной кромки  $\sigma_{cr} = 15$  МПа; коэффициент концентрации напряжений у выходной свисающей кромки  $k_\sigma = 6$ ; предел усталости материала 240 МПа (сталь 20Х13 при температуре  $500^\circ\text{C}$ ); число лопаток на колесе  $z_{л} = 110$ , число лопаток в пакете  $j = 5$ ; частота вращения 3000 об/мин. Логарифмический декремент колебаний  $\eta = 0,01 \cdot \sigma / 50$ .

Для расчета напряжений необходимы резонансные кратности  $k_1$  и  $k_2$  для пакетов на колесе с наименьшей и наибольшей частотами [4]:

$$k_1 = (f_d + \Delta f) / n = 3300 \cdot 1,15 / 50 = 76$$

$$k_2 = (f_d - \Delta f) / n = 3300 \cdot 0,85 / 50 = 56$$

Значения пакетных множителей:

$$\chi_1 = \frac{\sin(\pi \cdot 5 \cdot 76 / 110)}{5 \sin(\pi \cdot 76 / 110)} = -0,2398;$$

$$\chi_2 = \frac{\sin(\pi \cdot 5 \cdot 56 / 110)}{5 \sin(\pi \cdot 56 / 110)} = 0,1981.$$

Относительная интенсивность возмущающих гармоник:

$$x_{k1} = \frac{2}{\pi \cdot 76} \frac{\sin(\pi \cdot 76 / 110)}{(\pi \cdot 76 / 110)} \cdot (-0,2398) = -7,640 \cdot 10^{-4};$$

$$x_{k2} = \frac{2}{\pi \cdot 56} \frac{\sin(\pi \cdot 56 / 110)}{(\pi \cdot 56 / 110)} \cdot 0,1981 = 1,407 \cdot 10^{-3}$$

Для пакета с наименьшей собственной частотой возмущающая гармоника имеет наибольшую интенсивность.

В корневом сечении пакетированной лопатки постоянного профиля при резонансе амплитуда напряжения [4] с учётом постоянной  $C_m = 0,401$ .

$$\sigma = (2\pi / \eta) C_m x_k \sigma_{ст},$$

$$\sigma \eta = 2\pi \cdot 0,401 \cdot 1,407 \cdot 10^{-3} \cdot 15 = 5,318 \cdot 10^{-2} \text{ МПа.}$$

Найдено номинальное напряжение изгиба в выходной кромке:

$$\sigma = 50 \cdot (5,318 / 50)^{1/2} = 16,31 \text{ МПа.}$$

С учетом концентрации напряжений

$$\sigma_{\max} = k_\sigma \sigma = 6 \cdot 16,31 = 97,9 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса прочности по пределу усталости

$$n_\sigma = \sigma_{-1} / \sigma_{\max} = 240 / 97,9 = 2,45.$$

Полученное значение является допустимым.

Численные методы, такие как метод конечных элементов (МКЭ), позволяют проводить более точные расчеты, учитывая сложные геометрии и неоднородности материалов [5,6,7]. Численные методы обычно предпочтительны для проведения модального анализа, в то время как аналитический метод, используемый в данной работе, поможет для проведения предварительных анализов и оценок.

### Источники

1. Лаптев С. А. Анализ возможных структур вихревого газожидкостного потока в аппарате и получение обобщенных зависимостей // Математ. методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 12-2. С. 132-139.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Титов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Альтернативная энергетика и экология: Междунар. науч. журнал. – 2023. – № 1(406). – С. 23-35.

3. Клейдман О.В., Клейдман М.Д. Анализ свободных и вынужденных колебаний сосудов и баллонов высокого давления из композитных материалов на основе МКЭ. // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2022 (МНТК "ИМТОМ - 2022"): матер. XI Междунар. науч.-техн. конф. Казань, 2022. Том 2. С. 189-191.

4. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин: учебник / Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. - 472 с.

5. Клейдман О. В., Клейдман М. Д. Анализ усталостной долговечн. образца - свидетеля истории нагружения диска паровой турбины в расч. комплексе NCODE for ANSYS // Энергосбережение и инновац. технол. в топл.-энергет. комплексе: матер. Национ. с междунар. участ. науч.-практ. конф. студ., аспирантов, учёных и спец. Тюмень, 2023. С. 60-63.

6. Пахомов С. А., Маслов И. Н. Механика конструкций в COMSOL Multiphysics. // Инновационные идеи молодых исследователей: материалы XII Междунар. науч.-практ. Конф. Уфа, 2023. С. 63-66

7. Ютанова А.А., Клейдман М.Д. Анализ НДС на основе МКЭ цельнокованого ротора турбины при действии эксплуатационных нагрузок с учётом дефектов в осевом канале // XXVI Всерос. аспирант.-магистр. науч. сем-р, посвящ. дню энергетика: матер. докл, Казань, 2022. Том 2. С. 184-187.

## ГИБРИДНЫЕ МИНИ-ТЭС С ВЕТРОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Гурова Мария Владимировна<sup>1</sup>, Клейн Евгений Васильевич<sup>2</sup>  
Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>volvo.gur80@gmail.com, <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

Данная работа представляет собой исследование о применении гибридных энергетических систем (ГМТЭС) совместно с ветровыми установками для эффективного использования возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** мини-ТЭЦ, ветровые установки, энергоснабжение, ветер.

## HYBRID MINI-THERMAL POWER PLANTS WITH WIND TURBINES

Gurova Maria V.<sup>1</sup>, Klein Evgeny V.<sup>2</sup>  
Scientific hands. Mingaleeva Guzel R.  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russia  
<sup>1</sup>volvo.gur80@gmail.com, <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

This work is a study on the use of hybrid energy systems (GMTES) in conjunction with wind turbines for the efficient use of renewable energy sources.

**Keywords:** mini-CHP plants, wind turbines, power supply, wind.

Глобальное потепление и истощение традиционных источников энергии ставят перед человечеством необходимость развития и расширения использования возобновляемых источников энергии. Ветровая энергия давно признана одним из самых перспективных источников возобновляемой энергии, и ее потенциал только растет.

Однако для обеспечения стабильного и устойчивого энергоснабжения необходимо решить несколько проблем, связанных с неравномерностью и переменностью ветровых ресурсов. Использование гибридных мини-теплоэлектростанций (ГМТЭС) с ветровыми установками представляет собой перспективное решение, которое объединяет несколько источников энергии для обеспечения непрерывного и стабильного потока электроэнергии. Для достижения максимального эффекта использования энергии топлива на мини-ТЭС необходимо



совместное производство электроэнергии за счёт энергии ветра и энергии, полученной от сжигания углеродного топлива [1].

Глобальное потепление и необходимость устранения загрязнения окружающей среды стимулируют поиски новых источников возобновляемой энергии. В этом контексте гибридные мини-ТЭС с ветровыми установками представляют собой одну из наиболее эффективных и экологически чистых альтернативных энергетических систем. Кроме того, малым электростанциям легче использовать возобновляемые ресурсы, сочетать их с традиционным сжиганием органического ископаемого топлива и создавать многотопливный комплекс, способный адаптироваться к рыночным условиям [2].

Главным преимуществом гибридных мини-ТЭС с ветровыми установками является их способность обеспечить стабильное энергоснабжение в удаленных районах, которые лишены доступа к централизованной электросети. Ветряные установки работают при помощи энергии ветра, что делает их идеальным решением для использования в сельской местности или на отдаленных островах. В настоящее время основу ветроэнергетики (98% от общей мощности ветроэнергетического парка) составляют ветроэлектростанции, работающие параллельно с системой электроснабжения. В основном это связано с тем, что в какой-то степени стало возможным решить технические проблемы включения ветряных электростанций для параллельной работы с энергосистемой [3].

Включение ветровой энергии в энергетический баланс позволяет сократить использование традиционных топлив, что в свою очередь приводит к уменьшению выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов. При этом мини-ТЭС на основе ветровых установок могут дополнительно использовать другие источники, такие как солнечная энергия или генерация из газовых турбин. Такой гибридный подход значительно повышает надежность и эффективность системы.

Однако, несмотря на все преимущества, они также имеют свои ограничения. Ограниченная мощность и расположение в удаленных местах могут ограничивать применение в крупных городах или промышленных центрах. Также необходимо учитывать экологические аспекты при установке ветровых установок, такие как воздействие на птиц и изменение пейзажа. Кроме того, стоимость установки и обслуживания может быть высокой, что может снижать их привлекательность для некоторых регионов.

Одной из основных технических проблем, с которой сталкиваются ветровые установки, является прерывистый ветер и потенциальное

визуальное и шумовое воздействие на ландшафты и сообщества. Однако благодаря мини-ТЭС с гибридной конфигурацией, установки могут компенсировать эти колебания, что позволяет достигнуть более стабильного производства электроэнергии.

Одним из важных аспектов гибридных систем является их экономическая эффективность. Использование ветровых установок позволяет снизить зависимость от традиционных источников энергии, таких как уголь или нефть, что, в свою очередь, снижает затраты на энергию.

В заключение необходимо отметить, что гибридные мини-ТЭС с ветровыми установками представляют собой перспективное и экологически чистое решение для энергоснабжения удаленных районов. Однако перед внедрением необходимо учесть ограничения ветровых установок, такие как скорость ветра, и расходы на установку и обслуживание системы. В целом, гибридные мини-ТЭС с ветровыми установками представляют собой уникальную возможность для обеспечения стабильного и экологически чистого энергоснабжения в удаленных районах. При соблюдении всех технических и экологических аспектов, такие системы могут стать важным шагом на пути к устойчивому развитию и улучшению экологической ситуации в мире.

### **Источники**

1. Мусин, Р. И. Энергетические установки для мини-ТЭЦ / Р. И. Мусин, Е. А. Юрик // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 11-4. – С. 18-23.
2. The integration of hybrid mini thermal power plants into the energy complex of the republic of vietnam / G. Mingaleeva, D. T. Nguen, D. N. Pham [et al.] // Energies. – 2020. – Vol. 13, No. 21. – P. 5848. – DOI 10.3390/en13215848.
3. Stennikov, V. Hybrid power source based on heat and wind power plants / V. Stennikov, A. Penkovsky, I. Postnikov // MATEC Web of Conferences : electronic edition, Irkutsk, 26–27 апреля 2018 года. Vol. 212. – Irkutsk: EDP Sciences, 2018. – P. 02002. – DOI 10.1051/mateconf/201821202002.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛАХ

Дворнова Елизавета Александровна

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Тимофеева Светлана Сергеевна

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

dvornova.liza@mail.ru

В статье представлены перспективы применения биотоплива в работе котлов. Использование твердого биотоплива имеет множество экологических, экономических и социальных выгод, и может быть эффективным способом для решения проблемы изменения климата, сокращения загрязнения окружающей среды и улучшения качества жизни. Сравнивались основные характеристики различных биотоплив и котлов для их сжигания.

**Ключевые слова:** биотопливо, биомасса, топливо, котел, сжигание.

## PROSPECTS FOR THE USE OF BIOFUELS IN ENERGY BOILERS

Dvornova Elizaveta A.

Scientific advisor Timofeeva Svetlana S.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

dvornova.liza@mail.ru

The article presents the prospects for the use of biofuels in the operation of boilers. The use of solid biofuels has many environmental, economic and social benefits, and can be an effective way to address climate change, reduce environmental pollution and improve the quality of life. The main characteristics of various biofuels and boilers for their combustion were compared.

**Keywords:** biofuels, biomass, fuel, boiler, combustion.

Сжигание ископаемого топлива для генерации энергии существенно способствует климатическому кризису. Для уменьшения его негативного влияния необходимо искать новые источники энергии [1]. Биотопливо является одним из таких возобновляемых видов топлива, получаемых из растительного или животного сырья. В перспективе, оно может полностью заменить традиционные виды топлива [2]. В таблице 1 приведены свойства биотоплива, которые могут быть использованы для производства энергии.

Основные свойства биотоплива [3]

Вид топлива	Влажность, %	Зольность, %	Сера, %	Теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>
Лузга подсолнечника	4 - 10	0,36 -3,0	0,1	21,61
Пеллеты	8	2,5	0,1	18,84
Торф	40	5 - 12	0,3	10,47 -10,89
Щепа/опилки	8 - 60	0,4 - 0,6	0 - 0,3	10

Использование твердого биотоплива имеет множество экологических, экономических и социальных выгод.

Во-первых, применение твердого биотоплива позволяет сократить выбросы парниковых газов, так как отходы перерабатываются в ценное топливо, а не складываются на свалках.

Во-вторых, использование твердого биотоплива может существенно снизить затраты на энергию. Оно может быть дешевле, чем традиционные ископаемые топлива, что позволяет уменьшить расходы на энергию.

В-третьих, переход к биомассе в качестве топлива может создать новые рабочие места в лесной промышленности, сельском хозяйстве и производстве биотоплива, что положительно скажется на социальной сфере.

В-четвертых, использование твердого биотоплива может стимулировать развитие местной экономики. Производство и переработка биотоплива могут способствовать созданию новых предприятий и повышению уровня занятости в регионах.

Наконец, использование биомассы в качестве топлива может улучшить качество жизни населения. Загрязнение окружающей среды будет сокращено, что положительно отразится на общем состоянии окружающей среды и здоровье людей.

Также следует отметить, что котлы на биомассе уже успешно применяются на тепловых электростанциях (ТЭЦ) и в котельных, что является ярким примером эффективности использования твердого биотоплива.

В целом, использование твердого биотоплива имеет огромный потенциал для решения экологических, экономических и социальных

проблем и является перспективным направлением развития в области энергетики [4].

Таблица 2

Обзор котлов для сжигания биомассы [5]

Параметры	Паровые котлы	Водогрейные котлы	Термомасляные котлы
Мощность, кВт	-	200 - 10 000	750, 1000 - 5000
Паропроизводительность, т/ч	50	-	-
Рабочее давление, МПа	10	0,5	0,5
Температура рабочего тела, °С	450	180	350

Котлы предназначены для сжигания твердого топлива растительного происхождения и входят в состав основного оборудования ТЭЦ и котельных. В качестве топлива могут выступать отходы переработки растительного и древесного сырья, сельскохозяйственных отходов.

В качестве выводов можно отметить, что преимущество применения биомассы заключается в экономической доступности и энергетической независимости. В тоже время, сжигание биотоплива в котельных установках способствует уменьшению газовых и твердых выбросов.

### Источники

1. Савина М.В., Ндлову Э.Т., Мингалеева Г.Р. Оценка эффективности парового котла типа КЕ при сжигании низкосортного топлива Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12. № 1 (45). С. 3-12.

2. Виды биотоплива [Электронный ресурс] [https://trends.rbc.ru/trends/green/610a89709a7947d644d231bb#card\\_610a89709a7947d644d231bb\\_3](https://trends.rbc.ru/trends/green/610a89709a7947d644d231bb#card_610a89709a7947d644d231bb_3) (дата обращения 20.02.2024).

3. Характеристики биотоплив [Электронный ресурс] <https://1-engineer.ru/solutions/tec-mini-tec-i-kotelnye-na-biotoplive/kotly-i-kotelnye-ustanovki-na-biomasse/> (дата обращения 20.02.2024).

4. Смородин, Г. С. Анализ использования биотоплива при производстве электрической энергии / Г. С. Смородин. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 20 (124). – С. 199-202.

5. Тимофеева С.С., Караева Ю.В. Термохимическая переработка низкосортного торфа на основе газификации // Вестник казанского

государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2 (50).  
С. 15-26.

УДК 621.311

## РЕГИОНАЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПО ВЫБОРУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Дворнова Елизавета Александровна<sup>1</sup>, Чалкин Даниил Викторович<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>dvornova.liza@mail.ru, <sup>2</sup>jekeroner@gmail.com

В статье представлены причины, последствия и возможности региональной дифференциации нормативов по выбору энергетического оборудования.

**Ключевые слова:** оборудование, нормативные требования, регион.

## REGIONAL DIFFERENTIATION OF REGULATORY REQUIREMENTS FOR THE SELECTION OF ENERGY EQUIPMENT

Dvornova Elizaveta A.<sup>1</sup>, Chalkin Daniil V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>dvornova.liza@mail.ru, <sup>2</sup>jekeroner@gmail.com

The article presents the causes, consequences and possibilities of regional differentiation of standards for the choice of energy equipment.

**Keywords:** equipment, regulatory requirements, region.

В современном мире энергетическое оборудование играет важную роль в поддержании комфортных условий жизни, процессов производства и функционирования различных отраслей экономики. Один из важных аспектов при выборе энергетического оборудования – это соответствие нормативным требованиям [1-3]. Однако, в разных регионах могут существовать различные регулирующие документы, устанавливающие требования к энергетическому оборудованию. Это может быть обусловлено различиями в климате, энергетической инфраструктуре, виде источников энергии и многими другими факторами. Таким образом,

региональная дифференциация нормативных требований по выбору энергетического оборудования является необходимой для обеспечения эффективности и долговечности работы системы [4-6]. Например, в регионах с холодным климатом может потребоваться использование оборудования с повышенной энергоэффективностью и улучшенными устойчивыми к низким температурам характеристиками. В регионах с жарким климатом наоборот, актуальными могут быть требования к оборудованию, обеспечивающего эффективное охлаждение. В таблице 1 представлены фактическая и приведенная к температурным условиям 2022 года динамика изменения потребления электроэнергии.

Таблица 1

Фактическая и приведенная к температурным условиям 2022 года динамика изменения потребления электроэнергии в объединенных энергосистемах и ЕЭС России

Энергосистема	Потребление электроэнергии, млрд кВт·ч			Динамика изменения потребления электроэнергии, %	
	2023 год	2022 год	Отклонение	Фактическая	Приведенная к температурным условиям 2022 года
ЕЭС РОССИИ	1211,6	1106,3	15,3	1,4	1,7
ОЭС Центра	259,7	257,3	2,3	0,9	1,4
ОЭС Средней Волги	112,1	110,9	1,2	1,1	1,5
ОЭС Урала	263,1	260,8	2,3	0,9	1,2
ОЭС Северо-Запада	97,4	97,1	0,3	0,3	0,4
ОЭС Юга	113,5	111,1	2,5	2,2	2,9
ОЭС Сибири	229,9	224,7	5,3	2,3	2,6
ОЭС Востока	45,9	44,5	1,5	3,3	3,4

Кроме того, региональная дифференциация нормативных требований может способствовать экономическому развитию регионов. Например, в регионах, богатых природными ресурсами, могут быть установлены требования по использованию оборудования, использующего альтернативные источники энергии или обеспечивающего энергоэффективность. Такие требования могут стимулировать развитие новых отраслей, включающих производство и эксплуатацию соответствующего оборудования. Однако, региональная дифференциация нормативных требований также может представлять собой вызов для

производителей энергетического оборудования. Разработка и выпуск оборудования, удовлетворяющего специфическим требованиям конкретного региона, может потребовать дополнительных затрат на исследования и разработку. Кроме того, различные нормативные требования могут усложнить процедуру сертификации и получение разрешений на эксплуатацию. В целом, региональная дифференциация нормативных требований по выбору энергетического оборудования является необходимым условием для обеспечения эффективной и безопасной работы системы. Однако, чтобы минимизировать негативные последствия такой дифференциации, необходимо содействие со стороны государственных органов и регулирующих организаций. Они могут оказывать поддержку и стимулировать разработку энергоэффективного оборудования, учитывая специфические потребности каждого региона в условиях изменения климата [1-3]. Такой подход способствует более устойчивому развитию энергетических систем и созданию комфортных условий для всех жителей региона.

### **Источники**

1. 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.
2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.
3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.
4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.
5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.



6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

УДК 614.872.5

## **ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ, ВЫЗВАННЫХ РАБОТОЙ ГТУ, НА СОТРУДНИКОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Еркияшев Сергей Александрович<sup>1</sup>, Клейн Евгений Васильевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>easylemon0705@gmail.com, <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

Статья посвящена исследованию и анализу влияние вибраций, вызванных работой ГТУ, на сотрудников тепловых электростанций. Будут рассмотрены такие аспекты как: причины воздействия, последствия воздействия и варианты решения проблемы.

**Ключевые слова:** вибрация, ГТУ, тепловые электростанции, вредный фактор.

## **THE EFFECT OF VIBRATIONS, CAUSED BY THE OPERATION OF GTI, ON EMPLOYEES OF THERMAL POWER PLANTS**

Erkiyashev Sergey A.<sup>1</sup>, Kleyn Evgeniy V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>easylemon0705@gmail.com, <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

The article is devoted to the study and analysis of the effect of vibrations caused by the operation of GTI on employees of thermal power plants. The following aspects will be considered: causes of exposure, consequences of exposure and solutions to the problem.

**Keywords:** vibration, GTI, thermal power plants, harmful factor.

Тепловые электростанции являются одним из основных источников энергии для большинства стран мира. Они используются для обеспечения энергией промышленных предприятий, жилых домов и других объектов инфраструктуры. Одним из основных элементов тепловой электростанции

являются газотурбинные установки (ГТУ), которые преобразуют тепловую энергию сгорания топлива в механическую энергию. Однако работа ГТУ может вызывать вибрации, которые могут оказывать негативное влияние на здоровье сотрудников электростанции.

Основными причинами возникновения вибраций на теплоэлектростанциях являются газотурбинные установки и турбогенераторы. Вибрации возникают из-за неравномерного горения топлива, неправильной настройки оборудования, а также износа деталей и узлов.

При работе газотурбинных установок, вибрации от опорных подшипников турбин, компрессорных установок, турбогенераторов и вращающихся частей с частотой 3000 оборотов в минуту не должны превышать 4,5 миллиметра в секунду. В случае превышения допустимого уровня вибраций, необходимо принять меры для ее снижения в течение 30 дней. При вибрациях свыше 7,1 мм/сек не разрешается эксплуатация ГТУ дольше 7 дней, а при вибрациях 11,2 мм/сек – отключение турбины с помощью защитной системы или вручную [1].

Вибрации, вызванные работой ГТУ, влияют на различные системы организма человека. В первую очередь, они могут вызвать нарушение работы вестибулярного аппарата, что приводит к головокружениям, тошноте и даже потере равновесия. Кроме того, вибрации могут вызывать стресс и нервозность, что также негативно сказывается на здоровье, а также вибрации могут привести к развитию вибрационной болезни, которая проявляется в виде онемения пальцев рук, нарушения кровообращения, снижение чувствительности и похолодание конечностей, развитие сосудистых нарушений, нарушение сна, раздражительность, снижение работоспособности [2,3].

Для снижения негативного влияния вибраций на сотрудников тепловых электростанций используются различные методы. Одним из наиболее эффективных методов является применение виброизоляторов, которые устанавливаются между ГТУ и фундаментом станции [4]. Виброизоляторы позволяют уменьшить амплитуду колебаний и тем самым снизить уровень вибраций. Необходимо учитывать следующие технические характеристики: допустимая нагрузка, эффективная жесткость, собственная частота, коэффициент демпфирования и температурный диапазон. А также должны проводиться следующие мероприятия: применение современных ГТУ с низким уровнем вибраций, своевременное проведение реабилитации работников, подвергшихся

воздействию вибраций, обеспечение сотрудников средствами индивидуальной защиты (виброгасящие перчатки, обувь и т.д.) [5].

Кроме того, для предотвращения развития вибрационной болезни у сотрудников проводятся регулярные медицинские осмотры, на которых выявляются ранние признаки вибрационной болезни. Если такие признаки обнаруживаются, то сотрудники переводятся на другие рабочие места, где уровень вибраций ниже [6].

Помимо всего вышеперечисленного так же необходимо проводить обучение и инструктаж сотрудников. Работники должны быть обучены правильному поведению на рабочем месте и знать о возможных рисках, связанных с вибрациями.

Таким образом, вибрации, вызванные работой ГТУ на тепловых электростанциях, могут оказывать негативное воздействие на здоровье сотрудников. Однако благодаря применению виброизоляторов, проведению регулярных медицинских осмотров и других методов предотвращения вибрационной болезни у работников удастся снизить уровень вибраций и предотвратить развитие болезней у работников тепловых электростанций. Кроме того, важно проводить обучение и инструктаж работников, чтобы они знали о возможных рисках и умели правильно действовать в случае возникновения проблем.

### **Источники**

1. Расчет диагностического параметра вибраций для оценки технического состояния подшипников скольжения ГТУ / М. А. Абессоло, П. С. Кунина, А. А. Паранук [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 6(59). – С. 63-66.

2. Газотурбинные установки [Электронный ресурс] URL: [https://manbw.ru/analytics/gas-turbine\\_units\\_power\\_station\\_power\\_plant.html](https://manbw.ru/analytics/gas-turbine_units_power_station_power_plant.html) (Дата обращения 22.02.24).

3. Вибрации газотурбинных установок [Электронный ресурс] URL: [https://manbw.ru/analytics/gas-turbine\\_units\\_power\\_station\\_power\\_plant.html](https://manbw.ru/analytics/gas-turbine_units_power_station_power_plant.html) (Дата обращения 22.02.24).

4. Говдин, А. А. Вибромониторинг на основе частотной модели двигателя ДР59Л ГПА-10 "Волна" / А. А. Говдин, С. М. Чекардовский // Нефтегазовый терминал: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции имени профессора Н.А. Малюшина, Тюмень, 15 марта 2019 года / Под общей редакцией М.А. Александрова.

Том Выпуск 16. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 105-110.

5. Салимон, А. В. Проблемы виброналадки газотурбинных энергетических установок / А. В. Салимон, Г. И. Егоров, Е. А. Циклин // Теплоэнергетика. – 2006. – № 7. – С. 30-34.

6. Норма вибраций [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/71462000/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (Дата обращения 23.02.24)

УДК 621.311

## ВЫБОР ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Залялов Айрат Амирович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>  
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>zalyalovart@mail.ru

Выбор энергетического оборудования для обеспечения электрических нагрузок является важным аспектом в проектировании и эксплуатации электросистем. Качественное и правильно подобранное оборудование обеспечивает надежность и безопасность работы системы, а также оптимальное использование энергии. В этой статье мы рассмотрим ключевые факторы, которые следует учитывать при выборе энергетического оборудования.

**Ключевые слова:** энергетическое оборудование, энергия, мощность, тип оборудования, эффективность, надежность, безопасность.

## SELECTION OF POWER EQUIPMENT ACCORDING TO ACTUAL LOAD

Zalalov Airat A.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>zalyalovart@mail.ru

The selection of power equipment to supply electrical loads is an important aspect in the design and operation of electrical systems. High-quality and properly selected equipment

ensures the reliability and safety of the system, as well as optimal use of energy. In this article, we'll look at the key factors to consider when choosing power equipment.

**Keywords:** power equipment, energy, power, type of equipment, efficiency, reliability, safety.

Энергетическое оборудование – это технические устройства и системы, предназначенные для производства, передачи, преобразования, распределения и потребления энергии. Это включает в себя разнообразные устройства и механизмы, которые используются для обеспечения энергетических потребностей различных отраслей промышленности, бытовых нужд, транспорта, сельского хозяйства и других сфер деятельности.

При выборе оборудования необходимым условием является определение требуемой электрической мощности [1-3]. Необходимо учитывать текущую и потенциальную нагрузку, чтобы избежать перегрузок и перерасхода энергии. Кроме того, следует учесть факторы, такие как пиковые нагрузки, резервирование мощности и возможность расширения системы в будущем [4-6].

Следующим аспектом является выбор типа энергетического оборудования. Существует несколько видов оборудования, которые могут быть использованы для обеспечения электрических нагрузок, включая генераторы, трансформаторы, стабилизаторы напряжения и аккумуляторные батареи [2-4]. Каждый тип обладает своими преимуществами и ограничениями, и выбор зависит от конкретных потребностей системы.

Третий аспект, который следует учитывать, – это эффективность оборудования. Выбор энергетического оборудования с высокой эффективностью позволяет снизить потери энергии и экономить ресурсы. Например, использование инверторов с высоким КПД может значительно снизить потребление электроэнергии в системах с переменной нагрузкой, таких как системы кондиционирования воздуха или приводы переменного тока. Существенным фактором является надежность оборудования. Важно выбирать оборудование от надежных производителей с хорошей репутацией. Надежное оборудование гарантирует стабильную работу системы и минимизирует риск аварийных ситуаций [3]. Также следует учитывать гарантийные условия и доступность запасных частей для обслуживания и ремонта оборудования. Важно учитывать безопасность, оборудование должно соответствовать стандартам безопасности и иметь необходимые сертификаты. Также следует учитывать факторы, такие как

защита от перегрузок, короткого замыкания и грозových разрядов. Безопасность является приоритетом при выборе энергетического оборудования, чтобы защитить как оборудование, так и пользователей.

В результате проведенного анализа фактических нагрузок в энергетике можно сделать вывод о важности правильного выбора энергетического оборудования учитывая изменчивость нагрузок, необходимо выбирать устройства, которое оптимально соответствует требованиям и обеспечивает эффективное использование.

### **Источники**

1. 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.

2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.

4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УТИЛИЗАЦИОННЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ ГТУ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Залялов Айрат Амирович

Науч. рук. д-р. техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zalyalovart@mail.ru

В последние годы вопросы энергоэффективности и экологической устойчивости становятся все более актуальными. Одним из способов снижения энергопотребления и негативного воздействия на окружающую среду является использование утилизационных теплообменников для газотурбинных установок (ГТУ) малой мощности. В данной статье рассмотрена стоимость, преимущества и недостатки такого подхода, классификация утилизационных теплообменников, особенности эксплуатации системы теплоснабжения при их использовании, а также принцип работы данных систем.

**Ключевые слова:** утилизационные теплообменники, ГТУ малой мощности, эффективность, мощность.

## USE OF RECYCLING HEAT EXCHANGERS FOR LOW POWER GTU

Zalyalov Airat A.

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

zalyalovart@mail.ru

In recent years, issues of energy efficiency and environmental sustainability have become increasingly relevant. One of the ways to reduce energy consumption and negative impact on the environment is the use of waste heat exchangers for low-power gas turbine units (GTUs). This article discusses the cost, advantages and disadvantages of this approach, the classification of recovery heat exchangers, the operating features of the heat supply system when using them, as well as the operating principle of these systems.

**Keywords:** recovery heat exchangers, low power gas turbine units, efficiency, power.

Утилизационные теплообменники используются для получения дополнительной энергии из отходящего тепла, который иначе бы просто ушел в атмосферу. ГТУ малой мощности, как правило, имеет низкий КПД, и использование утилизационных теплообменников может повысить его за

счет извлечения тепла из отходящих газов и его передачи на нужды агрегата или производственного процесса [1-3].

Для расчета стоимости утилизационного теплообменника необходимо учитывать мощность ГТУ, тип утилизационного теплообменника (конденсационный, трубчатый, пластинчатый и т.д.) материалы изготовления и технические характеристики оборудования, расходы на проектирование и пуско-наладочные работы [2-4].

Преимущества использования утилизационных теплообменников: повышение эффективности установки; снижение затрат на энергоресурсы; уменьшение негативного воздействия на окружающую среду за счет снижения выбросов.

Недостатки: высокая стоимость приобретения и установки оборудования; необходимость проведения специальных работ по интеграции утилизационного теплообменника в систему ГТУ.

Особенности эксплуатации системы теплоснабжения при использовании утилизационных теплообменников включают в себя регулярную проверку состояния оборудования и его техническое обслуживание. Также важно правильно настроить всю систему, чтобы обеспечить оптимальную работу утилизационного теплообменника.

ЗАО «Теплообмен», ООО «Теплотекс», Alfa Laval, Kelvion это производители утилизационных теплообменников в России и за рубежом. При выборе устройства следует обращать внимание на его технические характеристики, репутацию производителя и гарантийное обслуживание.

Для эффективной работы оборудования следует соблюдать очистку поверхностей от инкрустаций, проверку герметичности соединений, замену изношенных деталей. Важно следить за параметрами, такими как температура, давление, расход воды или пара, чтобы обеспечить оптимальную эффективность и избежать аварийных ситуаций, утилизационные теплообменники должны быть правильно интегрированы в существующую систему теплоснабжения для оптимальной работы всей установки.

Таким образом, утилизационные теплообменники имеют значительный потенциал для повышения эффективности и надежности ГТУ малой мощности. Учитывая эти особенности эксплуатации, можно обеспечить долгосрочную и эффективную работу системы теплоснабжения с утилизационными теплообменниками.



## Источники

1. 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.
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.
3. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.
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.

УДК 621.438

## СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ РАБОТЕ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

Замалетдинов Роман Ильдарович<sup>1</sup>, Клейн Евгений Васильевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>zamaletdinoff.roman@yandex.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

В данной статье рассматривается работа газотурбинной установки и очистка выбросов оксида углерода, вырабатываемых в процессе ее работы, методом дожигания продуктов неполного сгорания.

**Ключевые слова:** ГТУ, оксид углерода, неполное сгорание, углеводороды, выбросы.

# REDUCING CARBON OXIDE EMISSIONS DURING GAS TURBINE PLANT OPERATION

Zamaletdinov Roman I.<sup>1</sup>, Klein Evgeny V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>zamaletdinoff.roman@yandex.ru, <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

This article discusses the operation of a gas turbine unit and the purification of carbon monoxide emissions generated during its operation by the method of afterburning products of incomplete combustion.

**Keywords:** GTU, carbon monoxide, incomplete combustion, hydrocarbons, emissions.

Газотурбинная установка (ГТУ) – это устройство, использующее энергию газа для создания механической работы. Принцип действия этого устройства заключается в преобразовании тепловой энергии газа в механическую энергию с использованием турбины.

Процесс работы ГТУ можно разделить на несколько основных этапов [1]:

1. Сжатие газа: Газ подается на вход компрессора, который повышает его давление.

2. Камера сгорания: В камере сгорания газ подвергшийся сжатию смешивается с кислородом из атмосферного воздуха и воспламеняется. В результате образуется горячий поток газов, который и создает реактивную тягу.

3. Подача горячего газа: Горячий газ из камеры сгорания поступает на лопатки турбины, которая начинает вращаться под воздействием струи газа. Вращение турбины приводит в движение вал, связанный с электрогенератором или другим рабочим оборудованием.

4. Охлаждение и рекуперация: После прохождения через турбину газ охлаждается и его давление снижается. Затем он проходит через теплообменник (рекуператор), где отдает свое тепло поступающему на сжигание газу, повышая его температуру перед камерой сгорания. Это повышает общую производительность газотурбинного двигателя.

5. Выхлоп: Охлажденный газ выводится из установки через выхлопную систему.

К загрязняющим атмосферный воздух газообразным веществам относятся: смесь оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), углекислый газ (оксид углерода IV)

и продукты неполного сгорания углеводородов. Данные вещества относятся к II и IV классам опасности.

К продуктам неполного сгорания можно отнести: оксид углерода II, водород, ароматические углеводороды, сажа. Основной причиной этого процесса является недостаточное содержание окислителя ( $O_2$ ) в смеси топливо-окислитель. В данной нижней концентрационный предел распространения пламени (НКПРП) соответствует сжиганию топлива лишь до CO и других продуктов неполного сгорания. Поэтому предлагается использовать метод дожигания продуктов с использованием принципа Ле-Шателье, который является минимально затратным [2].

Принцип Ле-Шателье (также известный как принцип противодействия) гласит, что если изменить один из параметров, влияющих на химическое равновесие в системе, то система будет стремиться уравновесить это изменение путем противодействия. В результате, концентрация веществ и другие параметры, характеризующие состояние равновесия, будут изменяться до тех пор, пока не стабилизируются на новых уровнях, обеспечивающих достижение нового равновесия.

В соответствии с принципом Ле-Шателье при повышении температуры и концентрации исходных веществ, химическое равновесие будет смещено в сторону прямой реакции, то есть к образованию  $CO_2$  и тепла. Чтобы повышение температуры не смещало реакцию в эндотермическую сторону, ее следует держать до 2000K. Конечным продуктом будет являться малотоксичный  $CO_2$ . В виде реакций это выглядит так [3]:

при недостатке окислителя:



при избытке окислителя:



В качестве оборудования для обеспечения лучшего смешивания топлива с кислородом можно использовать специальные форсунки, которые обеспечат данное требование.

Применение этого метода позволит значительно улучшить экологическую обстановку и уменьшить негативное воздействие газотурбинных установок на окружающую среду.

## Источники

1. Белова, М. П. Парогазовые установки: энергетическая эффективность / М. П. Белова, И. Н. Маслов // НАУКА СЕГОДНЯ: ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ, ПУТИ РАЗВИТИЯ: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 22 июня 2023 года. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "Манускрипт", 2023. – С. 145-146.

2. Максимов, С. П. Использование различных видов топлива на современных электрических станциях для повышения КПД и снижения выбросов в атмосферу / С. П. Максимов, И. Н. Маслов, Г. Д. Маслова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 166-169.

3. Бадрутдинов, Д. Р. Водород-альтернативное топливо для газотурбинных установок / Д. Р. Бадрутдинов, А. Е. Редель, М. И. Заровняев // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика : материалы докладов : в 3 т., Казань, 06–07 декабря 2022 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 164-167.

УДК 620.91

## СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЯНОГО КОКСА

Зиятдинов Дамир Даниалевич

Науч. рук. д-р тех. наук, проф. Зверева Эльвира Рафиковна

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

ziyatdinovdamir@gmail.com

В данной статье рассматриваются назначение угля и способ получения нефтяного кокса на установке замедленного коксования.

**Ключевые слова:** уголь, нефтяной кокс, нефтяная нефть, энергоресурсы, декарбонизация.

## METHODS OF USING PETROLEUM COKE

Ziyatdinov Damir D.

Scientific advisor Zvereva Elvira R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ziyatdinovdamir@gmail.com

This article discusses the purpose of coal and the method of producing petroleum coke at a delayed coking plant.

**Keywords:** coal, petroleum coke, naphtha, energy resources, decarbonization.

В настоящее время в отечественной энергетике около 20% от общего годового объема производства электрической энергии генерируется путем использования органического твердого топлива (каменные, бурые угли, сланцы). Твердое топливо РФ испытывает недостаток высококалорийного угля, зато в избытке имеются низкокалорийный уголь и продукты переработки органического топлива, поэтому требуются новые энергоэффективные и экологически безопасные технологии по использованию альтернативных топлив [1].

Нефтяной кокс производят на нефтеперерабатывающих предприятиях посредством крекинга нефтяных остатков. Один из наиболее перспективных способов переработки тяжелых нефтяных остатков - замедленное коксование. Сырьем УЗК является гудрон, полученный из нефти в установке ЭЛОУ-АВТ [2]. Химическая реакция образования кокса происходит по радикально-цепному механизму, в результате которого происходят реакции конденсации, приводящие к образованию кокса. При этом также образуются высокомолекулярные продукты – смолы, асфальтены, карбены, карбоиды, а также углеводородов с низким молекулярным весом – газы и газойлевые фракции, которые могут быть использованы как сырье для других процессов или в производстве готовой продукции [2-3].

Нефтяной кокс представляет собой твердый пористый продукт черного цвета с характерным металлическим блеском. Кокс состоит из 87÷97% углерода, 1,5-8% водорода, а также небольших долей азота, кислорода, серы и металлов. Встречаются разные способы применения нефтяного кокса, он может: использоваться в качестве восстановителя в химических процессах, например, при производстве электродной продукции, абразивных материалов; при плавке окисленных руд цветных металлов, использоваться в качестве топлива.

Нефтяной кокс обладает высокой теплотой сгорания (до 36 МДж/кг), что предполагает возможные варианты его применения в теплоэнергетических системах, но при этом его низкая реакционная способность ограничивает наличие стабильного фронта воспламенения факела и предполагает обеспечение подсветки факела на режимах малой производительности, возможно использование технологий комбинированного сжигания топлива [2-3].

Необходимость модернизации отечественной угольной энергетики прогнозирует повышение объема использования малореакционного, низкокачественного и других видов топлива, нефтяного кокса в том числе, обладающего неплохими горючими характеристиками.

### **Источники**

1. Краснянский Г.Л., Зайденварг В.Е., Ковальчук А.Б., Скрыль А.И. Уголь в экономике России. – М.: Экономика, 2010. 383 с.

2. Иваницкий М.С. Сжигание нефтяного кокса марки К2 на ТЭС (на примере котла ТП-80) // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 3 (113). С. 13- 18.

3.Смидович Е.В. Крекинг нефтяного сырья и переработка углеводородных газов: Технология переработки нефти и газа, Ч. 2. Изд. 3 е перераб. и доп. – М.: Химия, 1980 – С. 94.

УДК 621.311

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ГТУ НА РАЗНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА**

Зозуля Илья Владимирович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Абасев Юрий Васильевич

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

zozulya.ilya@yandex.ru

В докладе исследуется влияния смены топлива на энергоэффективность ГТУ SGT-300 на базе моделирования в АС ГРЭТ.

**Ключевые слова:** ГТУ, математическая модель, дизельное топливо, метан, тепловой расчет, КПД.

# ANALYSIS OF GTU OPERATION ON DIFFERENT TYPES OF FUEL

Zozulia Ilya V.

Scientific advisor Abasev Yuri V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

zozulya.ilya@yandex.ru

The report investigates the impact of fuel change on the energy efficiency of SGT-300 GTU based on modeling in AS GRET.

**Keywords:** GTU, mathematical model, diesel fuel, methane, thermal calculation, efficiency.

В докладе проводился тепловой расчет в АС ГРЭТ, с целью определения влияния топлива на эффективный КПД газотурбинной установки малой мощности SGT-300 [1]. Данная турбина является одновальная установка, имеет следующую схему (см. рисунок):



Расчётная схема одновальной ГТУ малой мощности SGT-300

В качестве исходных данных были взяты технические характеристики SGT-300, таблица 1 [3].

Таблица 1

Технические характеристики SGT-300

Мощность, МВт	7,9
Частота, Гц	50
Эффективность, %	30,6
Степень сжатия компрессора	13,7
Температура выхлопных газов, °С	542
Температура в камере сгорания, °С	1256

После формирования расчетной схемы и входных данных узлов, был сформирован закон управления, образующийся из невязок, давления торможения на выходе из переходного канала и статического давления в невозмущенном потоке на входе в двигатель. Также был выбран варьируемый параметр – суммарный расход воздуха на входе в двигатель, и параметр задающий режим (ПЗР) – потребная мощность для привода агрегатов [2].

Таким образом, благодаря данной математической модели можно отследить влияние характеристик топлива на эффективный КПД ГТУ и на расход топлива.

Первый тепловой расчет проводился с использованием метана в качестве топлива, имеющего следующие характеристики:  $H_u = 49229.5$  кДж/кг,  $L_0 = 17,3$  кг [5]. В результате были получены итоговые значения КПД ГТУ и расхода топлива, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Результаты первого теплового расчета

КПД ГТУ SGT-300, %	29,7
Расход топлива, кг/ч	1939,9

В следующий расчет ГТУ производился с использованием дизельного топлива, с данными характеристиками:  $H_u = 43500$  кДж/кг,  $L_0 = 14,5$  кг [4]. Были получены итоговые значения, приведенные в таблице 3.

Таблица 3

Результаты второго теплового расчета

КПД ГТУ SGT-300, %	30,6
Расход топлива, кг/ч	2135,6

Учитывая, что 1 кг метана равен  $1,5 \text{ м}^3$ , можно посчитать итоговые затраты за час работы для ГТУ SGT-300. Средняя стоимость метана составляет  $19,5 \text{ р/м}^3$ , тогда получим:

$$A = G_{\text{тм}} \cdot A_{\text{м}} \cdot V_{\text{м}} = 1,5 \cdot 1939,9 \cdot 19,5 = 56742,075 \text{ р/ч} - \text{затраты за час работы, используя метан.}$$



1 кг дизельного топлива равен 1,1188 л, средняя стоимость дизельного топлива составляет 53,2 р/л, получим затраты за час работы, используя дизельное топливо:

$$A = G_{\text{до}} \cdot A_{\text{д}} \cdot V_{\text{д}} = 2135,6 \cdot 53,2 \cdot 1,1188 = 127111,254 \text{ р/ч} - \text{затраты за час работы, используя дизельное топливо.}$$

Исходя из расчетов представленных выше, можно сделать вывод, что переход на дизельное топливо экономически невыгоден из-за его дороговизны, по сравнению с метаном, возросшего расхода топлива и незначительного прироста КПД газотурбинной установки.

### **Источники**

1. Титов, А. В. АС ГРЭТ / А. В. Титов, Б. М. Осипов. — Казань : КГЭУ, 2006.
2. Гафуров, А. М. Проведение энергоаудита газотурбинных установок с помощью автоматизированной программной среды / А. М. Гафуров, Р. М. Калимуллина. — // Иновационная наука. — 2015.
3. Общие сведения о турбине Siemens SGT-300. — Текст : электронный // dm.energy : [сайт]. — URL: <https://dm.energy/gazovye-turbiny/siemens/sgt-300> (дата обращения: 10.11.2022).
4. Винокуров, В. А. Многофункциональная присадка к дизельному топливу и дизельное топливо / В. А. Винокуров, С. Т. Башкатова. — 1998.
5. Белоусов, В. Н. Топливо и теория горения / В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, О. С. Смирнова. — Санкт-Петербург : , 2011. — 86 с.

УДК 621.7

## **СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ**

Иванов Никита Алексеевич<sup>1</sup>, Шишкина Елизавета Алексеевна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Савина Мария Валерьевна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nuviko@gmail.com, <sup>2</sup>siskinaelizaveta150@mail.ru

В этой статье рассматриваются различные методы, которые можно использовать для повышения конструкционной прочности компонентов и систем. Эти методы

включают оптимизацию геометрии и размеров компонентов, использование композитных материалов, поверхностное армирование и применение современных методов расчета конструкций.

**Ключевые слова:** материал, прочность, метод, конструкция.

## WAYS TO INCREASE THE STRUCTURAL STRENGTH OF MATERIALS AND SYSTEM ELEMENTS

Ivanov Nikita A.<sup>1</sup>, Shishkina Elizaveta A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Savina Maria V.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>nuviko@gmail.com, <sup>2</sup>siskinaelizaveta150@mail.ru

This article discusses various methods that can be used to increase the structural strength of components and systems. These methods include optimizing the geometry and dimensions of components, the use of composite materials, surface reinforcement, and the use of modern structural calculation methods.

**Keywords:** material, strength, method, construction.

Характеристики изделий, такие как износостойкость, коррозионная стойкость и отражательная способность определяются свойствами их поверхности. Различные методы нанесения покрытий используются для улучшения характеристик прочности поверхности и продления срока службы деталей, снижая затраты на ремонт. Покрытия защищают поверхность от нагрузок, температур и агрессивных сред, а также используются в декоративных целях и для восстановления формы изделий. Материаловедение покрытий – это обширный раздел знаний о функциональных материалах, которые условно делятся на два типа: изменяющие химический состав поверхности (химико-термическая обработка) и наносящие новый материал на поверхность (напыление, осаждение и нанесение эмалей) [1].

Прочность материала можно увеличить с помощью механического, химического или теплового воздействия на него. Для этого можно обработать уже готовый материал или использовать специальные методы его производства [2].

Одним из основных методов является оптимизация геометрии и размеров. Это процесс анализа и выбора наиболее эффективной геометрической формы и размеров элемента конструкции. Этот процесс основан на расчетах и экспериментах и может значительно повысить прочность и жесткость конструкций. Композитные материалы - еще один важный способ повышения прочности. Композитный материал - это

сочетание двух или более различных материалов для улучшения их свойств. Композитные материалы могут использоваться как для поверхностного усиления, так и для создания новых материалов с уникальными свойствами. Кроме того, улучшению свойств материалов способствуют передовые методы обработки поверхности. Использование современных аналитических и вычислительных методов – еще один важный аспект повышения прочности конструкций. Численные методы, такие как метод конечных элементов, могут использоваться для моделирования сложных процессов и определения оптимальных параметров конструкций. Более того, использование "умных" материалов, таких как метаматериалы, также может способствовать повышению прочности конструкций. Метаматериалы – это материалы, свойства которых меняются в зависимости от частоты и длины волны приложенного электрического поля. Это может быть использовано для создания структур с уникальными свойствами [3], такими как отрицательная масса или отрицательная жесткость.

Упрочнение может быть достигнуто путем добавления в материал различных элементов, таких как углерод, азот и кислород, что позволяет создавать новые структуры с повышенной прочностью. Помимо упрочнения, для повышения прочности материалов можно использовать различные методы обработки материалов. Термообработка, термомеханическое упрочнение и химико-термическая обработка - одни из самых распространенных методов обработки материалов.



Виды термообработки

Размер зерен также играет важную роль в прочности материала. Чем меньше размер зерна, тем прочнее материал. Выбор того или иного метода повышения прочности зависит от требований к материалу и условий обработки [4].

## Источники

1. Шайхутдинов К.А. Роль жидкостной карбонитрации в комбинированной химико-термической обработке сталей вкс-7 и вкс-10 // В сборнике: Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2023. С. 819-821.
2. Маслов И.Н., Мингазов Р.Р. Высокоскоростная механическая обработка // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 99-7. С. 176-177.
3. Маслов И.Н. Материалы с памятью формы в конструкционно-технологических решениях изделий машиностроения // В сборнике: Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация". Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах. Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2023. С. 798-801.
4. Горбачев Д.А., Маслов И.Н. Синтетическая охлаждающая жидкость // В сборнике: МИРОВЫЕ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОСТИ. ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС. Автономная некоммерческая организация «Национальный исследовательский институт дополнительного профессионального образования» (АНО «НИИ ДПО»). Ростов-на-Дону, 2023. С. 175-177

УДК 547.21

## ВАРИАНТ ГАЗИФИКАЦИИ ОТДАЛЕННЫХ РАЙОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Ишалин Александр Вениаминович

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна

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

aiv1999@yandex.ru

В статье рассматриваются перспективы использования магистральных газопроводов в период снижения объемов экспортируемого газа. Предлагаемый вариант способствует как обеспечению эксплуатации газопровода в нормальном режиме, так и решает проблему негазифицированных районов на территории Российской Федерации.

**Ключевые слова:** топливо, трубопровод, энергетика, газификация, транспортировка, метан, этан, пропан.

## OPTION FOR GASIFICATION OF REMOTE AREAS WITH USING MAIN GAS PIPELINES

Ishalin Aleksandr V.

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aiv1999@yandex.ru

The article suggests the possibility of using main gas pipelines during a period of declining volumes of exported gas. The proposed option contributes both to the operation of the gas pipeline and solves the problem of non-gasified areas on the territory of the Russian Federation.

**Keywords:** fuel, pipeline, energy, gasification, transportation, methane, ethane, propane.

Газификация представляет собой одно из ключевых направлений развития энергетической отрасли Российской Федерации. К 2030 году ожидается достижение уровня газификации в 83%, что делает этот процесс крайне важным для обеспечения энергетической безопасности страны. До полной газификации регионы, удаленные от централизованного газоснабжения, могут быть снабжены газом по предлагаемому варианту. В данной статье будет предложен метод снабжения газом в отдаленных регионах страны. На рис. 1 представлена гистограмма, отражающая ожидаемый уровень газификации к 2030 году. Этот график демонстрирует динамику процесса газификации и позволяет оценить перспективы развития этого направления в будущем.



Рис.1 Уровень газификации по годам в РФ

В районах, где нет газопроводов, подача газа осуществляется с помощью газовых баллонов, которые чаще всего заполняются этаном. Этан транспортируется в цистернах, танкерах и баллонах, вместо чего предлагается использовать магистральный трубопровод. По мере сокращения поставок природного газа в Европу участки магистрального газопровода могут быть использованы для транспортировки этана. Предполагается смешивать этан и метан и транспортировать их по магистральному газопроводу. По прибытию в конечный пункт этан отделяется от метана и закачивается в газовые баллоны для дальнейшей транспортировки. Планируется использовать существующие газопроводы и газотурбинные установки мощностью до 25 МВт. В то же время рассматривается вариант сжигания исключительно исходного природного газа и смеси этана и пропана. Первый вариант предпочтительней, однако, если смесь проходит через одну или несколько компрессорных станций, его будет сложнее реализовать.

Этот метод транспортировки этана ограничен рядом затрат, большинство из которых связано с физическими свойствами этана. А именно, с понижением температуры кипения смеси, что означает увеличение возможности образования конденсата на стенках трубопровода. Температура кипения этана составляет  $-88,6^{\circ}\text{C}$ , для сравнения, температура кипения метана составляет  $-161,58^{\circ}\text{C}$  при нормальных условиях. Ситуация усугубляется это тем фактом, что при повышении давления до 60 атм, температура кипения этих газов в среднем повышается на  $60^{\circ}\text{C}$ [1].

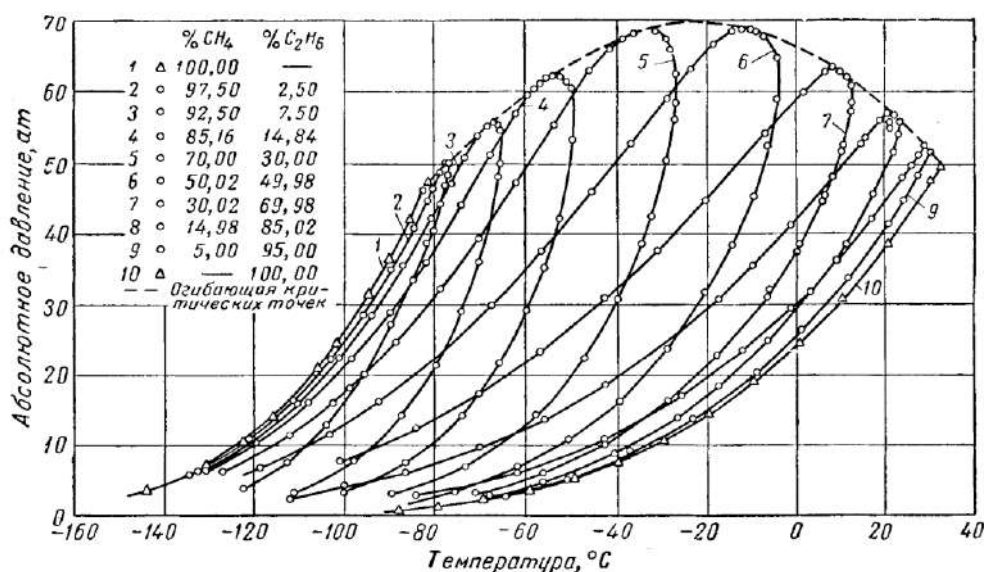


Рис. 2 Диаграмма фазового состояния смесей метан – этан.

На рис. 2 показано поведение всех возможных смесей системы метан-этан [2], согласно этим данным содержание этана в топливе может быть изменено для контроля критической точки при разных температурах, что помогает предотвратить негативные последствия смешивания этана. Наиболее подходящими для климата смесями европейских регионов РФ являются 5 и 6. Это связано с относительно морозной зимой, когда температура редко опускается ниже  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а средняя температура колеблется от  $-13$  до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Помимо этана, пропан также можно смешивать с метаном, но из-за физических свойств пропана смешивание с метаном сложнее. Это связано с конденсацией, которая ближе к температуре окружающей среды, чем у этана. Это ограничение не позволяет смешивать более 50% пропана при повышении давления в 60 атм.

На рис. 3 показаны метан, пропан и 3 смеси, содержащие эти 2 газа. Эти графики показывают, что добавление пропана резко повышает критическую температуру топливной смеси, поэтому его следует добавлять в меньших количествах, чем этан. Это связано с температурой кипения пропана, которая в нормальных условиях составляет  $-44^{\circ}\text{C}$  [3].

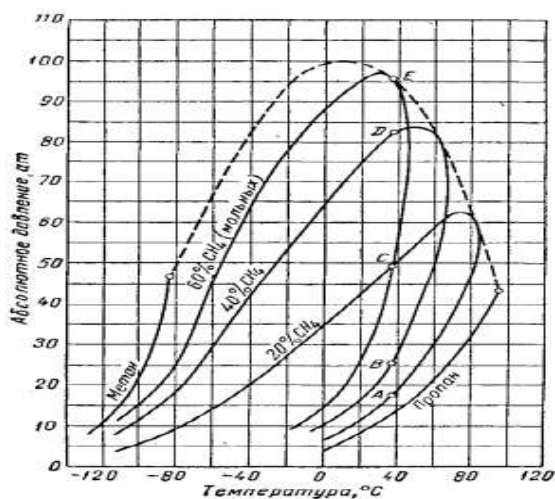


Рис. 3. Диаграмма фазового состояния смесей метан – пропан.

Перспективным решением является добавление пропана и этана в природный газ для его последующей транспортировки по магистральным газопроводам. Это позволит доставлять топливо, затем помещать его в газовые баллоны и направлять в районы, которые еще не газифицированы. Использование газопроводов снизит затраты на транспортировку этана и пропана, как для производителя, так и для конечного потребителя.

## Источники

1. Файрузов, Д. Х. Этан - высокоэффективное сырье нефтехимии / Д. Х. Файрузов, Р. А. Рахимкулов, И. М. Герзелиев // Нефтегазохимия. – 2020. – № 3-4. – С. 24-32. – DOI 10.24412/2310-8266-2020-3-4-24-32.

2. Катц Д.Л., Корнелл Д., Кобаяши Р. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа. – Изд-во «Недра», – 1965.

3. Исследование влияния степени переохлаждения при образовании гидратов метан-пропановой газовой смеси на равновесные условия их разложения / В. И. Медведев, П. А. Гущин, В. С. Якушев, А. П. Семенов // Химия и технология топлив и масел. – 2015. – № 5(591). – С. 30-35.

УДК 621.181.018: 504.3.054

### ОЦЕНКА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПАРОВОГО КОТЛА ДЕ-10-14ГМ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА

Казбакова Илюза Раисовна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Тимофеева Светлана Сергеевна

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

iluzaru@gmail.com

Основным топливом во многих предприятиях по производству пара является природный газ. В последнее время существенно растет интерес к применению альтернативных видов топлива в паровых котлах. Если заменить основное топливо на биогаз, можно значительно сократить количество выбросов в атмосферу. Целью данной статьи является расчет выбросов в паровом котле ДЕ-10-14 на природном газе и на биогазе, сравнение полученных показателей.

**Ключевые слова:** природный газ, топливо, альтернативное топливо, биогаз, паровой котел.

### ASSESSMENT OF HARMFUL EMISSIONS FROM THE DE-10-14GM STEAM BOILER USING SPILLED FUELS

Kazbakova Iluza R.

Scientific advisor Timofeeva Svetlana S.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

iluzaru@gmail.com



The primary fuel in many steam plants is natural gas. Recently, interest in the use of alternative fuels in steam boilers has been growing significantly. If you replace the main fuel with biogas, you can significantly reduce the amount of emissions into the atmosphere. The purpose of this article is to calculate emissions in the DE-10-14 steam boiler using natural gas and biogas, and compare the obtained indicators.

**Keywords:** natural gas, fuel, alternative fuel, biogas, steam boiler.

К современным альтернативным топливам относятся пиролизный газ, генераторный газ, водородное топливо, топливные суспензии, а также биогаз [1-3]. Производства биогаза осуществляется анаэробным сбраживанием органических отходов. В качестве направления применения биогаза можно рассматривать его сжигание в котле путем полной или частичной замены природному газу.

В данной работе рассматривался паровой котел ДЕ-10-14ГМ, который предназначен для производства тепла. Данный котел вырабатывает пар с температурой 194°C с давлением 1,3 МПа [4]. КПД составляет 82%, производительность пара 10 т/ч. ДЕ-10-14ГМ-производства Монастырищенского котельного завода имеет газомазутную горелку ГМ-7, которая подходит для сжигания альтернативного топлива переменного состава.

Определение выбросов газообразных загрязняющих веществ позволит узнать количество выбросов  $NO_2$ ,  $SO_2$  и  $CO$  при работе котла на биогазе. Для сравнения также проведен расчет экологических показателей котла на традиционном топливе - природном газе (табл. 1).

Таблица 1

Состав топлива для сжигания в паровом котле

Топливо	Состав газа, %							
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
Биогаз	69,44	30,36	0,09	0,11	-	-	-	-
Природный газ	92,8	0,5	2,5	-	2,8	0,9	0,4	0,1

Расчет выбросов оксида азота:

$$M_{NO_x} = B_p Q_i^r K_{NO_x}^r \beta_t \beta_a \beta_k (1 - \beta_r) (1 - \beta_\delta) k_{\Pi} \quad (1)$$

Расчет выбросов оксида углерода:

$$M_{CO} = 10^{-3} BC_{CO} \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) k_{II} \quad (2)$$

Расчет выбросов оксида серы:

$$M_{SO_2} = 0,02BS^r (1 - \eta'_{SO_2}) (1 - \eta''_{SO_2}) \quad (3)$$

Результаты расчета занесены в таблицу 2.

Таблица 2

Количество выбросов газообразных веществ

Вид топлива	Суммарное количество выбросов $NO_2$ , т/год	Суммарное количество выбросов $SO_2$ , т/год	Суммарное количество выбросов $CO$ , т/год
Биогаз	15,18	4,16	6,77
Природный газ	40,17	-	17,19

В результате проведенных расчетов выяснилось, что количество выбросов при работе парового котла ДЕ-10-14ГМ на природном газе и на биогазе не превышают предельно допустимые значения. Выбросы газообразных веществ, при использовании альтернативного вида топлива значительно ниже. Таким образом, это подтверждает актуальность использования биогаза для получения энергии в котлах.

### Источники

1. Караева Ю.В., Тимофеева С.С., Миндубаев А.З. Исследование коферментации органических отходов и фитомассы щиряцы запрокинутой энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 1 (117). С. 50-53.

2. Лучкина Е.Е., Сидоркина О.А., Караева Ю.В. Прогнозирование шлакования и загрязнения поверхностей нагрева котла при сжигании биотоплива / Вестник казанского государственного энергетического университета. 2023. т. 15. № 4 (60). С. 47-57.

3. Mingaleeva G.R., Ermolaev D.V., Afanasyeva O.V., Timofeeva S.S. an experimental study of the viscosity of coal-water slurry with a bifractional composition of its dispersed phase / Thermal Engineering. 2012. Т. 59. № 6. С. 446-448.

4. Савина М.В., Ндлову Э.Т., Мингалеева Г.Р. Оценка эффективности парового котла типа ке при сжигании низкосортного топлива // Вестник казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 12. №1(45). С. 3-12.

УДК 662.76

## РАСЧЁТ ПАРОВОГО КОТЛА ПРИ РАБОТЕ НА СИНТЕЗ-ГАЗЕ

Клейн Евгений Васильевич<sup>1</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>zombee1997@mail.ru, <sup>2</sup>mingaleeva-gr@mail.ru

В данной статье рассматривается возможность перевода котельного агрегата с работы на природном газе, на работу на синтез-газе. Обсуждаются вопросы перспективы твёрдого топлива по сравнению с жидким и газообразным и его плюсы. Производится сравнительный анализ работы котла на двух разных видах топлива по средствам расчётов, а также анализируя данный расчёт даётся ответ на вопрос о необходимости адаптации оборудования по средствам его модернизации.

**Ключевые слова:** паровой котёл, газогенератор, топливо, синтез-газ, природный газ, сравнительный анализ, расчёт парового котла.

## CALCULATION OF THE STEAM BOILER WHEN WORKING ON SYNTHESIS GAS

Klein Evgeny V.<sup>1</sup>

Scientific advisor. Mingaleeva Guzel R.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>zombee1997@mail.ru, <sup>2</sup>mingaleeva-gr@mail.ru

This article discusses the possibility of transferring a boiler unit from working on natural gas to working on synthesis gas. The issues of the prospects of solid fuels in comparison with liquid and gaseous fuels and its advantages are discussed. A comparative analysis of the boiler operation on two different types of fuel is performed by means of calculations, and also analyzing this calculation, an answer is given to the question of the need to adapt the equipment by means of its modernization.

**Keywords:** steam boiler, gas generator, fuel, synthesis gas, natural gas, comparative analysis, calculation of the steam boiler.

В последнее время все больше внимания уделяется использованию альтернативных источников энергии, и одним из таких источников является синтез-газ. Запасы твёрдого топлива во много раз превышают запасы газообразного, а также бесконечный рост цен на нефть и газ открывают громадные перспективы для развития газификации [1]. Ещё одним несомненным плюсом газификации является то, что не нужно проводить газопроводы, что является несомненным плюсом для удаленных мест, например, в Сибири. Где колоссальные запасы угля. Однако большинство оборудования не рассчитано для работы на синтез-газе и для его адаптации необходимо провести расчёты, чтобы адаптировать его работу под синтез-газ.

В данной статье я рассчитаю паровой котёл при работе на природном газе, а затем при его работе на синтез-газе и сделаю выводы требуется ли модернизация котла для перевода его работы на синтез-газ.

Расчёты будут проведены для парового котла Е-75-3,9-440 ГМ производства ООО "ЭСД-БиКЗ". Данный котёл был выбран, потому что параметры пара, который он генерирует идеально подходят для паровой турбины К-20-3,6/3000. Данное оборудование было подобрано для включения в схему [2].

Расчёт котла производится по методу, описанному Липовым [3]. В качестве эталонного образца был произведён расчёт котла на природном газе из газопровода Промысловка-Астрахань. Именно с ним и будет производиться сравнение работы котла на синтез-газе.

Синтез-газ мы получали путём газификации угля марки Ирша-Бородинский Б. Процентный состав получившегося газа следующий:  $\text{CO}$  – 48.2%,  $\text{H}_2$  – 49.8% и  $\text{CO}_2$  – 2%. Условия работы котла, в обоих случаях – это номинальная нагрузка. В котёл не вносились никаких изменений, то есть компоновка, присосы и т.д. брались аналогичные, чтобы проверить возможна ли теоретическая работа котла на синтез-газе без каких-либо технических изменений.

В результате расчёта были получены следующие данные:

КПД котла снизился с 98.63% до 95.52%, данное расхождение обуславливается тем, что при работе на синтез-газе потери с уходящими газами ( $q_2$ ) значительно выше. Данное расхождение не сильно большое и не окажет сильного влияние на экономичность работы котельной установки (следует учитывать, что стоимость угля намного ниже стоимости газа).

Расход топлива при работе на природном газе в 3.2 раза меньше, что обуславливается тем, что калорийность данного синтез-газа так же в 3.2 раза ниже. Данный фактор может послужить серьёзным ограничением, поскольку для выработки такого количества синтез-газа необходима установка большого количества, достаточно мощных, газогенераторов. Их необходимое число, а также объёмы и производительность будут подсчитаны мною в одной из следующих работ.

В результате расчёта топочной камеры я пришёл к выводу, что для перевода котла на работу на синтез-газе необходима модернизация. Это обуславливается тем, что адиабатическая температура горения у синтез-газа выше практически на  $1000^{\circ}$  из-за чего возникает необходимость в изменении геометрических параметров топочной камеры и следующих за ней газоходов котла. Что подтверждает написанное мной выше, что оборудование не предназначено к работе на синтез-газе и требует серьёзной адаптации.

Использование синтез-газа в качестве топлива для паровых котлов имеет свои особенности и требует специального подхода к расчету и проектированию котлов. Однако, учитывая растущий интерес к альтернативным источникам энергии и развитие технологий, использование синтез-газа в энергетике может стать перспективным направлением.

### **Источники**

1. Клейн Е. В. Исследование стадии сушки твердых частиц в поточных газогенераторах / Е. В. Клейн // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 26–28 апреля 2023 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 670-673.

2. Патент № 2812312 С1 Российская Федерация, МПК F24S 90/00, C10J 3/46. Способ переработки твердого топлива с использованием солнечной энергии: № 2023115641: заявл. 15.06.2023: опубл. 29.01.2024 / Г. Р. Мингалеева, М. Ф. Набиуллина, Е. В. Клейн; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет".

3. Липов Ю.М. Виленский Т.В. Самойлов Ю.Ф. Компоновка и тепловой расчет парового котла. учеб. Пособие для вузов. Энергоатомиздат. 1988. – 208 с.

УДК 621.311

## **МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Лысов Федор Дмитриевич

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

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

flysov@gmail.com

Данный обзор рассматривает вопросы мониторинга электрических нагрузок в жилищно-коммунальном хозяйстве с целью оптимизации энергопотребления. Также представлен обзор литературы по истории развития методов мониторинга и их современным технологиям, а также рассмотрены методы сбора и анализа данных, применимые к типовым электропотребителям в данном секторе. Результаты исследования включают анализ статистических данных о распределении электрических нагрузок, а также выявление факторов, влияющих на изменения нагрузок.

**Ключевые слова:** мониторинг, электрические нагрузки, энергопотребление, жилищно-коммунальное хозяйство, обзор литературы, анализ данных.

## **MONITORING OF ELECTRICAL LOADS IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICES**

Lysov Fedor D.

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

flysov@gmail.com

This article examines the issues of monitoring electrical loads in the housing and communal services sector with the aim of optimizing energy consumption. The paper provides a literature review on the history of monitoring methods development and their modern technologies, as well as discusses data collection and analysis methods applicable to typical electricity consumers in this sector. The research results include an analysis of statistical data on the distribution of electrical loads, as well as the identification of factors influencing load changes.

**Keywords:** monitoring, electrical loads, energy consumption, housing and communal services, literature review, data analysis.

Электроэнергия является жизненно важным ресурсом для обеспечения комфорта и функционирования жилищно-коммунального сектора. Оптимизация энергопотребления в этом секторе имеет стратегическое значение, как с экономической, так и с экологической точек зрения. В данном обзоре мы обращаем внимание на вопросы мониторинга электрических нагрузок в жилищно-коммунальном хозяйстве с целью эффективного использования энергоресурсов [1-3]. История мониторинга электрических нагрузок в жилищно-коммунальном секторе начинается с первых систем электроснабжения. Примитивные методы сбора данных использовались для учета расхода электроэнергии. С развитием технологий, методы мониторинга стали точнее и эффективнее, переходя от ручного учета к автоматизированным системам с удаленным доступом. Современные технологии включают специализированные датчики, удаленное управление и анализ данных, что позволяет оперативно отслеживать и оптимизировать энергопотребление [4-6]. Применение мониторинга в жилищно-коммунальном секторе имеет преимущества, такие как повышение энергоэффективности и возможность оперативного реагирования на аварии, но также сопряжено с ограничениями, включая высокие затраты и конфиденциальность данных [2]. Анализируя статистические данные о распределении электрических нагрузок в жилищно-коммунальном секторе, мы выявили следующие основные тенденции: среднегодовое потребление электроэнергии в жилых домах составляет примерно 5 000 кВтч на дом; пиковая нагрузка приходится на часы с 18:00 до 22:00, когда домохозяйства активно используют бытовые приборы; в летние месяцы (июнь-август) наблюдается увеличение потребления электроэнергии из-за использования кондиционеров и вентиляторов.

Изучая сезонные и временные вариации электропотребления, мы пришли к следующим выводам: зимой потребление электроэнергии увеличивается из-за отопления и использования электрических обогревателей, особенно в холодные дни; в выходные дни потребление электроэнергии обычно ниже, чем в будние дни, так как многие люди проводят больше времени вне дома. Проведенный анализ помог выявить следующие основные потребители электроэнергии и факторы, влияющие на изменения нагрузок: большинство энергопотребления приходится на системы отопления и кондиционирования воздуха; использование бытовых

приборов, таких как холодильники, стиральные машины и посудомоечные машины, также вносит существенный вклад в общее электропотребление; факторы, такие как изменения температуры, количество жителей в доме и привычки потребления энергии, оказывают значительное влияние на изменения нагрузок. Одной из ключевых стратегий оптимизации электропотребления, может быть, внедрение современных систем мониторинга и управления, основанных на полученных данных. Это позволит регулировать нагрузки в реальном времени, оптимизировать расход энергоресурсов и снизить затраты. Исследование мониторинга электрических нагрузок в жилищно-коммунальном секторе позволяет выявить ключевые факторы влияния на энергопотребление и разработать эффективные стратегии оптимизации. Применение современных технологий мониторинга, таких как удаленные системы и анализ данных, открывает новые возможности для улучшения энергоэффективности и управления ресурсами. Однако необходимо учитывать высокие затраты на внедрение и возможные риски конфиденциальности данных при использовании мониторинга.

### **Источники**

1. 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.

2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.

4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с



помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

УДК 621.311

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Лысов Федор Дмитриевич<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> flysov@gmail.com

Данный обзор исследует потенциал применения водорода в качестве ключевого фактора развития энергетической отрасли. В нем рассматриваются различные аспекты производства, хранения и использования водорода, включая технологии водородных топливных элементов и его роль в сокращении выбросов углерода.

**Ключевые слова:** водород, энергетическая отрасль, водородные топливные элементы, углеродные выбросы, альтернативные источники энергии, технологии хранения водорода.

## THE USE OF HYDROGEN AS A FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF THE ENERGY INDUSTRY

Lysov Fedor D.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> flysov@gmail.com

This article explores the potential of hydrogen utilization as a key factor in the development of the energy industry. Various aspects of hydrogen production, storage, and utilization are discussed, including hydrogen fuel cell technologies and its role in reducing carbon emissions.

**Keywords:** hydrogen, energy industry, hydrogen fuel cells, carbon emissions, alternative energy sources, hydrogen storage technologies.

Современная энергетическая отрасль сталкивается с рядом вызовов, связанных с исчерпанием традиционных источников энергии, угрозой изменения климата и необходимостью сокращения выбросов парниковых газов. В таком контексте активно исследуются альтернативные источники энергии, среди которых особое внимание привлекает водород [1-3]. В последние десятилетия водород вышел на передний план как потенциальный чистый источник энергии с нулевыми выбросами углерода при использовании. В данном материале рассматривается роль водорода в развитии энергетической отрасли, а также его потенциал как ключевого фактора в борьбе с изменением климата и обеспечении энергетической безопасности. Для начала следует произвести водород, рассматриваемый как альтернативный источник энергии, производится преимущественно через электролиз воды, паровую реформацию природного газа, биологические процессы или термохимические методы. Технологии хранения и транспортировки включают сжатие, охлаждение до жидкого состояния и химическое связывание, но сталкиваются с вызовами, такими как низкая плотность по объему и высокие затраты. Водород обладает преимуществами в чистоте и гибкости использования, но также имеет недостатки, такие как сложности инфраструктуры и высокие затраты на производство [4-6]. Сам же водород может актуален и по причине экологичности. Исследование, проведенное Международным энергетическим агентством (МЭА), подтверждает роль водорода в сокращении выбросов углерода и борьбе с изменением климата. Был проведен анализ эмиссий углерода от различных источников энергии, включая традиционные и альтернативные. Результаты показали, что использование водорода как чистого топлива значительно снижает выбросы углерода в атмосферу по сравнению с источниками энергии на основе углеводородов, такими как уголь и нефть. Использование водорода как энергетический носитель за последние 5 лет в энергетической отрасли выросло на 20%, а в транспортной сфере - на 35%. Прогнозируется, что к 2030 году доля водородных технологий в мировой энергетике составит более 10%. Сам же водород успешно применяют в транспортной индустрии, где водородные автомобили, автобусы и грузовики уже эксплуатируются в различных странах мира. Водородные автобусы и автомобили активно используются в городах Германии, Японии и США. Например, первый в мире серийный автомобиль Toyota Mirai,

построенный с нуля, является первым серийный автомобилем на водороде. Также существуют промышленные проекты, где водород используется для производства электроэнергии в пилотных установках с использованием водородных топливных элементов.

В заключении следует отметить, что использование водорода как чистого источника энергии представляет собой перспективное решение для борьбы с климатическими изменениями и обеспечения энергетической устойчивости. Несмотря на технологические и экономические вызовы, водородная энергетика демонстрирует значительный потенциал для развития в ближайшие годы. Основываясь на исследованиях и статистике, представленных в данной статье, можно сделать вывод о том, что водород играет важную роль в сокращении выбросов углерода и стимулировании инноваций в энергетической отрасли.

### **Источники**

1. Марьин Г. Е., Осипов Б. М., Титов А. В., Ахметшин А. Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035.

2. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 2020. С. 4430-4433.

3. Марьин, Г. Е. Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марьин Георгий Евгеньевич, 2023. 247 с.

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.

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.

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.

УДК 621.438

## ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА НА РАБОТУ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ

Меньшатов Андрей Михайлович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>menshatov\_03@mail.ru

Целью данного исследования является изучение влияния водородного топлива на работу газотурбинной установки. Конкретные задачи исследования включают анализ эффективности сгорания водорода, оценку изменений в работе газотурбинной установки при использовании водородного топлива и определение возможных путей оптимизации работы установки.

**Ключевые слова:** водород, газотурбинная установка, водородное топливо.

## INFLUENCE OF HYDROGEN FUEL ON THE OPERATION OF GAS TURBINE PLANT

Menshatov Andrey M.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> menshatov\_03@mail.ru

The purpose of this study is to study the effect of hydrogen fuel on the operation of a gas turbine plant. Specific objectives of the study include analyzing the efficiency of hydrogen combustion, assessing changes in the operation of a gas turbine plant when using hydrogen fuel, and identifying possible ways to optimize the operation of the plant.

**Keywords:** hydrogen, gas turbine unit, hydrogen fuel.

На текущий момент повышения энергетической эффективности и снижения негативного воздействия на окружающую среду являются

актуальными. Одним из решений данных проблем является использование водородного топлива в энергетической отрасли [1-3]. В данной научной статье представлен анализ влияния водородного топлива на работу газотурбинной установки.

Первоначально необходимо отметить, что водород является одним из самых перспективных топлив, так как его сжигание не приводит к выделению парниковых газов или других вредных выбросов. Это делает его наиболее экологически чистым и безопасным источником энергии.

Влияние водородного топлива на газотурбинные установки было подробно исследовано в ходе данного исследования. Опытные испытания были проведены на газотурбинных установках различной модификации с изменением типа топлива с традиционного на водородное. Результаты применения водородного топлива показали положительные изменения в работе установок [4-6].

В первую очередь, использование водородного топлива позволяет существенно увеличить КПД газотурбинной установки. Это достигается за счет того, что водород обладает высокой теплотой сгорания, что способствует более полному использованию энергетического потенциала топлива. В свою очередь, это приводит к снижению затрат на топливо и повышению эффективности работы установки в целом.

Кроме того, водородное топливо снижает уровень выбросов вредных веществ в атмосферу. Отсутствие выхода углекислого газа и других парниковых газов во время сгорания водорода оказывает положительное влияние на состояние окружающей среды. Это особенно важно в эпоху, когда проблемы изменения климата становятся все более острыми.

Экспериментальные данные показали, что использование водородного топлива увеличивает срок службы газотурбинных установок. Водород обладает низкой степенью окисления, что позволяет уменьшить износ и продлить срок службы компонентов установки [2-4].

В заключение, исследование подтверждает, что использование водородного топлива положительно влияет на работу газотурбинных установок. Увеличение КПД установки, снижение выбросов вредных веществ и продление срока службы – все это делает водородное топливо привлекательным вариантом для энергетической отрасли. Дальнейшие исследования в данном направлении позволят более точно оценить потенциал водородного топлива и разработать оптимальные системы его применения для газотурбинных установок.

### **Источники**

1. Марьин Г. Е., Осипов Б. М., Титов А. В., Ахметшин А. Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал

Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035.

2. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 2020. С. 4430-4433.

3. Марьин Г. Е. Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марьин Георгий Евгеньевич, 2023. 247 с.

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.

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.

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.

УДК 621.438

## **ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Меньшатов Андрей Михайлович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>menshatov\_03@mail.ru

Водородная энергетика представляет собой перспективное направление развития топливно-энергетического комплекса, которое может стать ключевым фактором в обеспечении устойчивого развития энергетики. В данной статье рассматриваются основные аспекты водородной энергетики, ее преимущества и недостатки, а также возможности применения в различных отраслях экономики. Также

обсуждаются технологические и экономические аспекты внедрения водородной энергетики, а также перспективы ее развития в будущем.

**Ключевые слова:** водород, водородная энергетика, развития энергетики.

## **HYDROGEN ENERGY AS A FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX**

Menshatov Andrey M.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov N.G.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> menshatov\_03@mail.ru

Hydrogen energy is a promising direction for the development of the fuel and energy complex, which can become a key factor in ensuring sustainable energy development. This article discusses the main aspects of hydrogen energy, its advantages and disadvantages, as well as the possibilities of application in various sectors of the economy. The technological and economic aspects of the introduction of hydrogen energy, as well as the prospects for its development in the future, are also discussed.

**Keywords:** hydrogen, hydrogen energy, energy development.

В настоящее время поиск альтернативных источников энергии становится все более актуальным. Одним из таких перспективных источников является водородная энергетика [1-3]. Водород, как химический элемент, обладает потенциалом стать существенным фактором развития топливно-энергетического комплекса. Основываясь на этом, предлагается рассмотреть влияние водородной энергетики на развитие энергетики в целом. Водород – самый обильный химический элемент во Вселенной. Он является универсальным носителем энергии, отличается высокими энергетическими характеристиками и экологической чистотой. Более того, его производство возможно из ряда различных источников, таких как вода, биомасса или природный газ. Таким образом, водород может стать промежуточным звеном в развитии различных видов топливных источников, открывая новые перспективы в области энергетики. Водородная энергетика предлагает несколько способов использования этого элемента. Первым и наиболее распространенным способом является применение водорода как топлива для водородных топливных элементов (ВТЭ). Водородные топливные элементы – это электрохимические устройства, которые преобразуют энергию, выделяющуюся при взаимодействии водорода с кислородом в воду, в

электрическую энергию [4-6]. Такая система имеет аккумуляторный эффект, позволяет эффективно хранить энергию и применять ее по мере необходимости. ВТЭ обладают высоким КПД, низкими показателями выбросов и малым вредным воздействием на окружающую среду. Вторым способом освоения водородной энергетики является использование водорода в процессах сжигания как топлива для двигателей внутреннего сгорания. В результате сгорания с водородом вместо традиционных источников энергии (например, бензина или дизельного топлива), не выделяются углекислый газ ( $CO_2$ ), диоксид азота ( $NO_2$ ) и другие примеси, отрицательно влияющие на окружающую среду. Таким образом, использование водорода в двигателях внутреннего сгорания может не только снизить зависимость от ископаемых источников энергии, но и сократить негативное воздействие на климатическую систему Земли. Также, водород может использоваться в качестве сырья для производства химических продуктов и материалов, таких как аммиак, метанол, металлургические процессы и т.д. Это открывает дополнительные перспективы в области развития промышленности. Однако, несмотря на все преимущества водородной энергетики, существуют и некоторые преграды на пути ее развития. Прежде всего, это высокая стоимость производства и хранения водорода. Также необходимы значительные инвестиции в развитие инфраструктуры для его использования. В связи с этим, водородная энергетика требует широкого вовлечения государства, научного сообщества и бизнес-сектора для успешного развития. В заключение, водородная энергетика является перспективным фактором развития топливно-энергетического комплекса. Ее потенциал в использовании различных видов топливных источников, экологическая чистота и высокие энергетические характеристики позволяют рассматривать водород как ключевой энергетический ресурс будущего. Однако, для реализации этого потенциала необходимы серьезные инвестиции и координация усилий со стороны государства и бизнеса. Только в таком случае водородная энергетика сможет стать решающим фактором в дальнейшем развитии топливно-энергетического комплекса.

### **Источники**

1. Марьин Г. Е., Осипов Б. М., Титов А. В., Ахметшин А. Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал



Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035.

2. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 2020. С. 4430-4433.

3. Марьин Г. Е. Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марьин Георгий Евгеньевич, 2023. 247 с.

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.

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.

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.

УДК 628.517

## **ИСТОЧНИКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА ПРИ РАБОТЕ ГТУ**

Мерзляков Арсений Андреевич<sup>1</sup>, Клейн Евгений Васильевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>senya8.3@yandex.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru.

Статья предоставляет полезную информацию об источниках возникновения шума в ГТУ и предлагает методы его снижения, что может быть полезно для

специалистов в области газотурбинных установок и промышленных предприятий, где такие установки используются.

**Ключевые слова:** газотурбинные установки (ГТУ), шум, звукоизоляция.

## **SOURCES OF OCCURRENCE AND WAYS TO REDUCE NOISE DURING THE OPERATION OF GTU**

Merzlyakov Arseniy A.<sup>1</sup>, Klein Evgeny V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>senya8.3@yandex.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

The article provides useful information about the sources of noise in GTU and suggests methods for reducing it, which may be useful for specialists in the field of gas turbine installations and industrial enterprises where such installations are used.

**Keywords:** gas turbine installations (GTI), noise, sound insulation.

Газотурбинные установки (ГТУ) активно применяются в разных сферах промышленности и энергетического комплекса. Однако работа ГТУ может сопровождаться шумом, который влияет на комфорт и безопасность персонала, а также на окружающую среду. Сегодня газотурбинные теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) обретают все большее распространение в качестве источников тепловой и электрической энергии для населения близлежащих районов [1] и нередко находятся в непосредственной близости от жилищ. При этом ГТУ являются самым мощным постоянным источником шума среди всего энергетического оборудования [2], что делает невозможным их применение на объектах теплоэнергетики без внедрения специальных мер по шумоглушению.

Уровень общей звуковой мощности шума, создаваемого системой всасывания газотурбинной установки, определяется множеством факторов: массой воздушного потока, проходящего через компрессор, адиабатическим напором, внешним диаметром рабочего колеса первой ступени компрессора и адиабатической эффективностью компрессора [3].

Наиболее интенсивными источниками шума при работе газотурбинных установок являются воздухозаборная камера, всасывающий патрубок осевого компрессора, корпус, выхлопная шахта, нагнетатель и технологические трубопроводы. Также шум может быть вызван выхлопной системой, где газы, выходящие из турбины, проходят через

различные аппараты и глушители, при этом могут возникать шумовые вибрации.

Снижение уровня шума в ГТУ можно достичь с помощью звукоизоляция. Для этого применяют различные звукоизолирующие материалы, такие как специальные поролон, минеральные ваты, а также современные композитные материалы. Эти материалы поглощают звуковые волны и снижают их отражение.

Кроме того, осуществляется инженерная звукоизоляция помещений, где установлены ГТУ. Что включает использование шумозащитных кожухов и панелей, специальных демпферов, а также установку звукопоглощающих перегородок и потолков. Также важно обеспечить хорошую вентиляцию, чтобы не допустить повышения давления внутри корпуса и связанного с этим риска.

Для снижения уровня шума в газотурбинных установках также используются методы активного шумоподавления. Эта техника, основанная на создании контршума, который противодействует исходному шуму. Для этого используются специальные датчики, которые регистрируют звуковые колебания, и генераторы шума, которые создают контршум необходимой амплитуды и фазы.

Кроме того, применение мер пассивного шумоподавления также может быть эффективным. Что включает использование акустических экранов, амортизаторов и т.д., способствующих поглощению шума.

Одной из мер для улучшения шумового комфорта является выбор оптимального расположения ГТУ. Правильное размещение установки в помещении или на объекте может существенно уменьшить шумовое воздействие на окружающую среду и персонал. При проектировании зданий учитываются акустические характеристики помещений, звукоизоляция стен и перегородок, а также вентиляционная система.

Также стоит обратить внимание на выбор места для установки выхлопных систем. Они должны быть размещены вдали от жилых и рабочих зон, чтобы минимизировать шумовое воздействие.

Одним из важных аспектов снижения шума в ГТУ является обслуживание и регулярная проверка состояния систем. Работающие неправильно или изношенные компоненты могут создавать дополнительный шум. Регулярное обслуживание и замена изношенных деталей помогут снизить уровень шума.

В заключение хотелось бы сказать, что снижение шума в газотурбинных установках является важным аспектом для обеспечения комфортных условий работы и безопасности персонала, а также для

снижения негативного воздействия на окружающую среду. Применение соответствующих методов шумоподавления и тщательное обслуживание помогут достичь низкого уровня шума и оптимальной работы ГТУ.

### **Источники**

1. Бабичевский Л. В. Изучение шумовых характеристик работы газовой турбины / Л. В. Бабичевский // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов в 3 т., Казань, 06–07 декабря 2022 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 162-164.

2. Марьин Г. Е. Перспективы внедрения мощных газотурбинных установок в энергосистему Республики Татарстан / Г. Е. Марьин, А. М. Цветкович // 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. 267-270.

3. Марьин Г. Е. Подвод различных веществ в проточную часть газовой турбины для повышения ее энергетических характеристик / Г. Е. Марьин, Д. И. Менделеев, А. Р. Ахметшин // Современные проблемы теплофизики и энергетики: материалы III международной конференции, Москва, 19–23 октября 2020 года. – Москва: Издательство федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (Издательство ФГБОУ ВПО "НИУ "МЭИ"), 2020. – С. 601-602.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРИЦИКЛОВОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Микусов Егор Олегович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Савина Мария Валерьевна

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

egor-mikusov@rambler.ru

В статье рассмотрены перспективы применения внутрициклового газификации угля в энергетических блоках. Отображены преимущества внедрения данного метода, рассмотрены практические примеры успешного внедрения метода внутрициклового газификации.

**Ключевые слова:** внутрицикловая газификация, энергетическое машиностроение, газификация угля.

## INVESTIGATION OF THE FEASIBILITY OF USING INTRACYCLE COAL GASIFICATION IN THE ENERGY SECTOR

Mikusov Egor O.

Scientific advisor Savina Maria V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

egor-mikusov@rambler.ru

The article discusses the prospects for using in-cycle coal gasification in power generating units. The advantages of implementing this method are shown, and practical examples of the successful implementation of the in-cycle gasification method are considered.

**Keywords:** in-cycle gasification, power engineering, coal gasification.

Использование угля в качестве топлива является гораздо более токсичным процессом для окружающей среды, чем например сжигание нефти или природного газа. Выброс загрязняющего среду углекислого газа при сжигании угля практически в два раза превышает объём выбросов углекислого газа при использовании альтернативных видов топлива. Таким образом использование угля в качестве топлива является актуальным для государств, не имеющих в своих недрах значительных нефтегазовых запасов [1]. В прочем, запасы нефти и газа также не являются бесконечными, и по всем этим причинам организации на всей

планете работают над снижением вреда отходов использования угля в качестве топлива энергетических установок. Одним из таких способов выступает метод внутрицикловой газификации угля. Этот метод подразумевает использование синтез-газа из отходов сжигания угля, который может в дальнейшем выступить источником топлива или компонентом удобрения в химической промышленности. Сложность разработки состоит в том, что такое оборудование является более дорогостоящим, однако преимущества метода очевидны, ведь наибольшая часть отходных выбросов в данном случае находит своё применение и в перспективе существенно помогает сократить издержки. Примеси оксидов азота, серы, тяжёлые металлы и твёрдые частицы выступают полезными компонентами в промышленных целях, таких как строительство дорог или химическая промышленность [2].

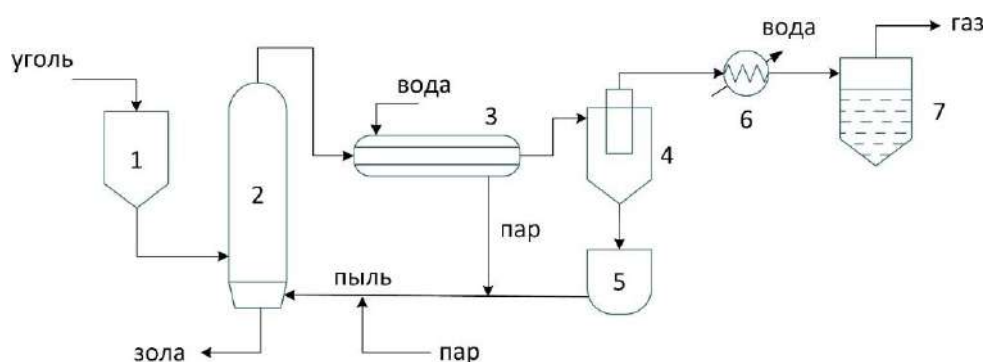


Схема внутрицикловой газификации твёрдого топлива (уголь).

Исследования компании Alstom Power показывают, что если хотя бы треть от общего объёма мощностей ГТУ, которые уже работают во всем мире преобразовать по схеме простого цикла газификации, то объём неэффективно израсходованной мощности можно сопоставить с плановым приращением эксплуатационной мощности в течение последующих 5-7 лет [3]. Произойдёт также и существенное снижение выбросов углекислого газа при расходе той же эксплуатационной мощности. Объединение данной технологии с модернизационными мероприятиями по усовершенствованию технологических функций энергетических установок повысит КПД усовершенствованного оборудования, сопоставимый с новым оборудованием, в пределах 58-59% [4]. В перспективе данная работа также поможет решить вопрос с альтернативным топливом. Данные разработки на сегодняшний момент уже проводятся в крупном промышленном масштабе. Например, была проведена масштабная реконструкция одной старой маломощной ТЭС, с номинальной

мощностью 125 МВт и коэффициентом полезного действия 35%, в данный энергоблок была присоединена газотурбинная установка типа GT24, а также старый мазутный котёл был замещён котлом-утилизатором. Мощность модернизированной энергетической установки составит 355 МВт, а КПД будет составлять 58% [5].

Подобный прирост мощности может освободить производственные мощности, потребляемые двумя котлами-утилизаторами. Токсичные выбросы отходов будут существенно понижены, на крупных предприятиях получится избежать штрафных санкций с экологической точки зрения: если энергоблок будет работать с таким же коэффициентом использования установленной мощности, как и в расчетном году, то абсолютные выбросы углекислого газа снизятся на 20%, это составляет порядка 150 000 тонн в год, серные выбросы будут сведены к минимуму, а выброс оксида азота снизится в 10 раз, таким образом, суммарное количество токсичных отходов снизится в 20 раз [6].

### **Источники**

1. Тимофеева С.С., Караева Ю.В. Термохимическая переработка низкосортного торфа на основе газификации. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т. 13. № 2 (50). С. 15-26.

2. Савина М.В., Тимофеева С.С. Разработка схемы использования генераторного газа из низкосортного угля в ПГУ. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2021. Т.13 № 2 (50). С. 66-77.

3. Абаимов Н.А., Рыжков А.Ф. Разработка модели поточной газификации угля и отработка аэродинамических механизмов воздействия на работу газогенераторов // Теплоэнергетика. 2015. № 11. С. 3.

4. Калимуллина Д.Д., Гафуров А.М. Влияние тепловых электрических станций на окружающую среду. // Инновационная наука. - 2016. - № 3-3 (15). – С. 91-93.

5. Гафуров А.М., Гафуров Н.М. Пути повышения эффективности современных газовых турбин в комбинированном цикле. // Энергетика Татарстана. – 2015. - № 1 (37). – С. 36-43.

6. Гафуров А.М. Перспективные области применения энергетических установок на низкокипящих рабочих телах. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2015. – №1 (25). – С. 93-98.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Муругов Данил Андреевич

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Титов Александр Вячеславович

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

danil.murugov@mail.ru

Данная статья направлена на рассмотрение использования турбодетандеров для рекуперации энергии и выработки электроэнергии. Газовые турбодетандеры, также называемые расширительными турбинами, восстанавливают технологическую энергию на объектах природного газа и нефтеперерабатывающих заводах, которая обычно теряется.

**Ключевые слова:** природный газ, турбодетандер, газовые скважины, добыча, выработка электроэнергии, извлечение энергии газа, расширительные турбины, рекуперация энергии.

## USING A TURBO EXPANDER TO EXTRACT NATURAL GAS ENERGY

Murugov Danil A.

Scientific advisor Titov Alexander V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

danil.murugov@mail.ru

This article is aimed at considering the use of turbo expanders for energy recovery and electricity generation. Gas turbine expanders, also called expansion turbines, recover process energy at natural gas facilities and refineries that is usually lost.

**Keywords:** natural gas, turbo expander, gas wells, mining, power generation, gas energy extraction, expansion turbines, energy recovery.

Турбодетандеры имеют ряд применений, но в этой статье основное внимание. В контексте рекуперативных процессов значимость приобретает эксплуатация турбодетандеров с целью преобразования энергии в электрическую. Именно данная технология оказывается в водовороте современных исследований, поскольку способствует максимально эффективному возвращению затраченного теплового потенциала обратно в



цикл энергетических ресурсов и дальнейшего преобладания его в электричество. Систематичное развитие и оптимизация турбодетандерных систем открывают новые горизонты для устойчивой энергетики. Практически любой газ с высокой энтальпией (которая зависит как от температуры, так и от давления) является потенциальным кандидатом на рекуперацию энергии. Расширители с генераторной нагрузкой могут быть спроектированы по индивидуальному заказу для извлечения максимального количества полезной энергии, доступной в процессе [3].

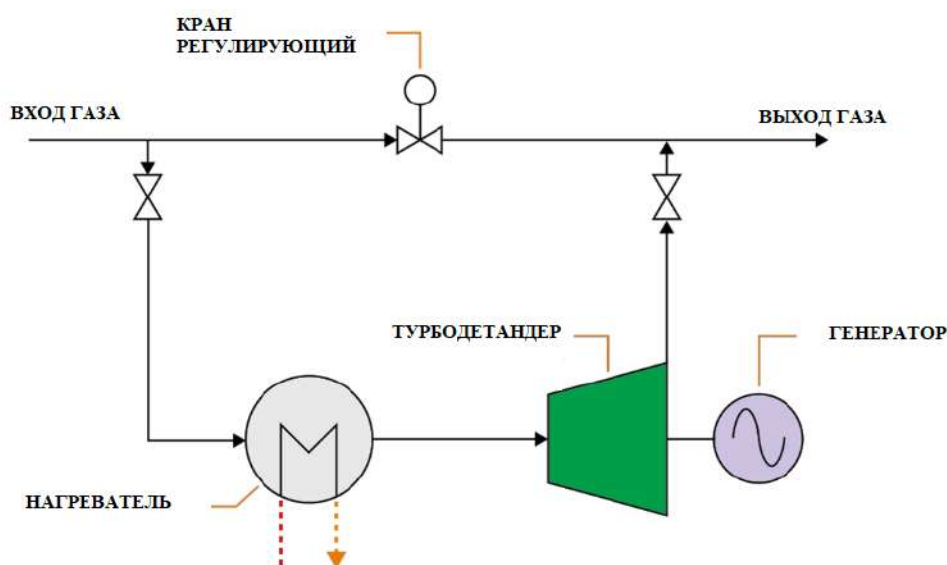


Схема система газового турбодетандера

Существует две широкие категории турбодетандерных систем, а именно турбодетандеры-генераторы и турбодетандеры-компрессоры. Для описания турбодетандеров-рекомпрессоров используется множество названий, таких как детандер-рекомпрессоры, компандеры или просто турбодетандеры. Турбодетандер-генераторы можно дополнительно классифицировать по вариантам редуктора: прямой привод, внешний редуктор или встроенный редуктор. Опция встроенного редуктора обеспечивает дополнительное преимущество многоступенчатости, позволяя устанавливать несколько ступеней расширителя на один редуктор. В большинстве случаев турбодетандер-генераторная установка может быть полностью смонтирована на раме для упрощения транспортировки и снижения затрат на монтаж [4].

Принцип детандера основан на преобразовании энергии газа под высоким давлением в механическую работу или мощность на валу. Эту энергию можно улавливать и использовать для приведения в действие

генератора для производства электроэнергии, компрессора или насоса, в зависимости от применения. Когда газ поступает из потока высокого давления в турбодетандер, он вращает турбину, которая соединена с генератором, вырабатывающим электроэнергию. Заменяв обычный регулирующий клапан или регулятор турбодетандером, энергия, содержащаяся в движущем потоке, которая в противном случае была бы потеряна, может быть использована для привода электрического генератора или механического оборудования. Выходная мощность пропорциональна соотношению давлений, температуре и скорости потока. Чем выше скорость потока и перепад давления, тем выше выход потенциальной энергии. Полная система управления, включающая органы управления впускным направляющим аппаратом, может использоваться для легкого управления системой детандер-компрессор [1].

Включение турбодетандеров лучше всего рассматривать во время проектирования, поскольку модернизация будет затруднена в зависимости от особенностей уже существующих объектов (таких как наличие свободного пространства, сложность площадки, местоположение и т. д.). Однако в конкретных местах, где турбодетандеры могут быть установлены позже, в проект следует включить положения о врезках и учитывать площадь участка.

При добыче и добыче жизнеспособность установки следует оценивать на протяжении всего срока эксплуатации месторождения, чтобы учесть профиль добычи с точки зрения расхода, изменчивости состава газа и профилей давления [2].

## **Источники**

1. Lehman B, Worrell E, Electricity Production from Natural Gas Pressure Recovery Using Expansion Turbines, In Proc. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 2001.

2. Rahman, M. 'Power generation from pressure reduction in the natural gas supply chain in Bangladesh.' In Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME 41, No. 2, December 2010.

3. Харисов И.С., Разработка и создание автономных энергетических установок малой мощности с расширительной турбиной / С.Н. Беседин // Газотурбинные технологии. - 2010.

4. Харисов И.С. Влияние уплотнений на эффективность малорасходных турбинных ступеней конструкции ЛПИ / Н.А. Забелин,

Г.Л. Раков, А.А. Себелев, Г.А. Фокин // Научно-технические ведомости СПбГПУ.- 2013.

УДК 620.92

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ КОНЦЕНТРАТОРОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Набиуллина Мадина Фаридовна

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна

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

madinanabiullina@yandex.ru

В работе подробно рассмотрено устройство солнечного концентратора башенного типа и параболической концентрационной солнечной установки. Проведен расчет мощности концентраторов в условиях солнечной инсоляции Республики Татарстан.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, солнечный концентратор, гелиоустановка, инсоляция, расчет мощности солнечного концентратора.

## **INVESTIGATION OF THE OPERATION OF VARIOUS TYPES OF SOLAR CONCENTRATORS IN THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN**

Nabiullina Madina F.

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

madinanabiullina@yandex.ru

The paper considers in detail the device of a tower-type solar concentrator and a parabolic concentration solar installation. The calculation of the power of concentrators in the conditions of solar insolation of the Republic of Tatarstan was carried out.

**Keywords:** solar energy, solar concentrator, solar installation, insolation, calculation of solar concentrator power.

Выработка тепло- и электроэнергии посредством солнечных концентраторов набирает большую популярность, как в частном использовании, так и в промышленных масштабах. Возобновляемость солнечной энергии является одной из ее главных преимуществ по

сравнению с ископаемым топливом. Солнце – неисчерпаемый источник энергии, использование солнечных концентраторов позволяет извлекать эту энергию с минимальными выбросами парниковых газов или без них. Изменение климатических поясов, наблюдаемое в последние годы, позволяет устанавливать солнечные концентраторы не только на экваториальном и тропическом, но и на умеренном поясе. Благодаря солнечным концентраторам производство солнечной электроэнергии может быть более эффективным и прибыльным, особенно при использовании систем хранения энергии.

В данной работе рассмотрены солнечные концентраторы, использующие теплоноситель: концентраторы башенного типа, параболоцилиндрические солнечные концентрационные установки и плоские закрытые солнечные трубчатые тепловые коллекторы. Последние используются в основном в частном секторе, так как их можно установить на крышах домов для выработки тепло- и электроэнергии для нужд потребителя.

Солнечные концентраторы башенного типа состоят из башни по середине с резервуаром для нагрева теплоносителя (вода, масло, воздух, расплавленная соль в жидком виде) установленном на вершине, а вокруг расположено большое количество зеркал, фокусирующие солнечные лучи на вершине башни. От резервуара отходят две трубы, по одной из них подаётся при помощи насосов остывшая смесь, а по второй отбирается нагретая, поступающая в тепловые резервуары-аккумуляторы для сохранения тепла после захода солнца и продолжения работы. Также на вершине башни может быть установлен ресивер, в котором нагревается воздух, поступающий в газотурбинную установку. За счет предварительного подогрева воздуха возрастает экономичность всей установки. В воздухонагревателе применяется пористый элемент в качестве теплообменного компонента [1].

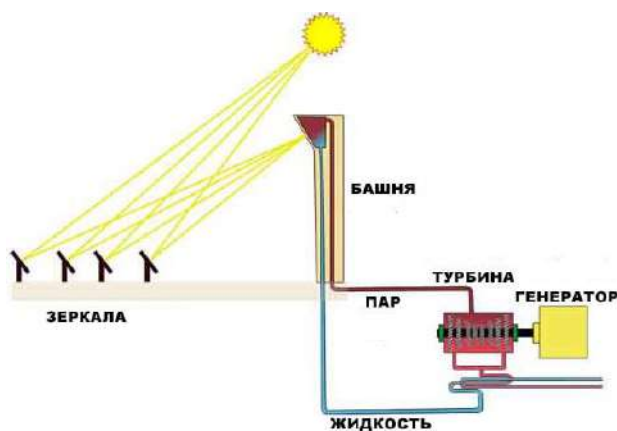


Рис.1. Устройство башенного солнечного концентратора.

Параболоцилиндрические концентрационные солнечные установки являются установками нагревательного типа, имеющие полукруглую изогнутую форму (параболу) с зеркальным покрытием и закреплённой по центру трубкой тёмного цвета, внутри которой проходит теплоноситель в виде жидкости (вода, масло), газа или вакуума для переноса тепла, разогреваясь до 400 °С и превращаясь в пар или разогретый газ для вращения генераторных турбин. В их устройство входят резервуары с накопленной тепловой энергией, способной храниться долгое время. Стены баков покрыты толстым слоем теплоизоляции, а внутри находится смесь из расплавленной соли или расположенные в определённом структурном порядке (в виде ячеек с воздушной прослойкой) тугоплавкие камни, которые очень хорошо проводят и аккумулируют тепло.

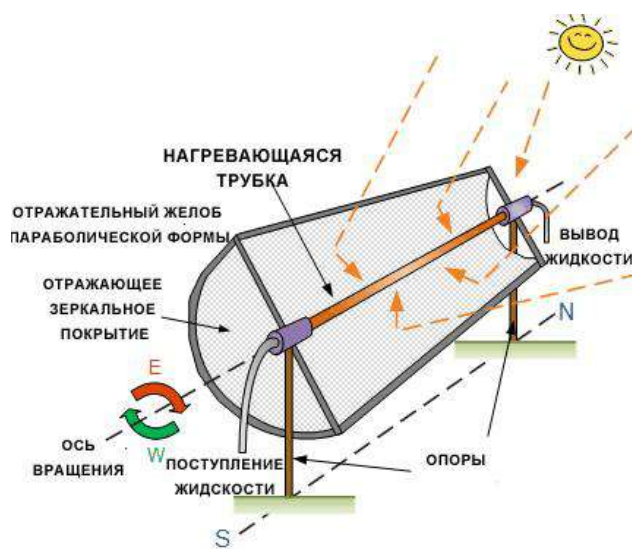


Рис. 2. Устройство параболической солнечной концентрационной установки.

Расчет мощности башенного солнечного концентратора  $N_B$ , кВт осуществляется по формуле [2]:

$$N_B = q \cdot F_r \cdot r_r \cdot \cos \theta \cdot K_{\text{зат}} \cdot K_{\text{бл}} \cdot K_{\text{ТП}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot r_k, \quad (1)$$

где  $q$  – среднемесячная солнечная инсоляция, кВт/м<sup>2</sup>;  $F_r$  – площадь гелиостатов, м<sup>2</sup>;  $r_r$  – отражательная способность гелиостатов, 0,75;  $\cos \theta$  – реальный угол падения солнечной инсоляции на гелиостаты, 0,75÷0,8;  $K_{\text{зат}}$  – коэффициент затенения гелиостатов;  $K_{\text{бл}}$  – коэффициент блокировки гелиостатов, обычно  $K_{\text{зат}} \cdot K_{\text{бл}} = 1$ ;  $K_{\text{ТП}}$  – коэффициент тепловых

потерь, 0,85;  $K_{\text{зап}}$  – коэффициент запыления, 0,95;  $r_k$  – коэффициент поглощения солнечной инсоляции теплоприемником котла,  $0,93 \div 0,95$ .

Формула для определения мощности параболического солнечного концентрационного устройства  $N_{\Pi}$ , кВт [3]:

$$N_{\Pi} = F_{\text{пр}} \cdot 8.36 \cdot 10^{-3} \cdot q \cdot F_{\text{конц}} \cdot k_{\text{конц}} \cdot R_z \cdot A_{\text{max}} \cdot h^3, \quad (2)$$

где  $F_{\text{пр}}$  – отраженная площадь поверхности концентратора, проецируемая на фокусную плоскость,  $\text{м}^2$ ;  $q$  – среднемесячная солнечная инсоляция,  $\text{кВт}/\text{м}^2$ ;  $F_{\text{конц}}$  – площадь входного окна концентратора,  $\text{м}^2$ ;  $k_{\text{конц}}$  – коэффициент концентрации;  $R_z$  – коэффициент отражения зеркальной поверхности;  $h$  – оптическое качество отражающей поверхности (принимается в диапазоне от 0 до 6);  $A_{\text{max}}$  – угол раскрытия концентратора.

Расчет мощности концентраторов был сделан с использованием данных о солнечной инсоляции в Республике Татарстан (табл. 1) [4].

Таблица 1

Среднемесячная мощность солнечных концентраторов в зависимости от солнечной инсоляции региона

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Значение солнечной инсоляции, $\text{кВт}/\text{м}^2$	0,68	1,44	2,82	4,29	5,52	5,93	5,72	4,49	2,86	1,51	0,83	0,54
Мощность параболической концентрационной установки, кВт	108,0	228,6	447,7	681,1	876,4	941,5	908,1	712,8	454,1	239,7	131,8	85,7
Мощность концентратора башенного типа, кВт	27,2	57,6	112,8	171,6	220,7	237,1	228,7	179,6	114,4	60,4	33,2	21,6

Мощность параболической солнечной концентрационной установки в 4-5 раз выше мощности солнечного концентратора башенного типа. Помимо высокой мощности преимуществом параболических солнечных концентраторов в отличие от концентраторов других типов считается компактность и простота обслуживания.

## Источники

1. Фам Д.Н, Мингалеева Г.Р., Савина М.В., Шешуков Е.Г. Исследование режимных параметров солнечного нагревателя воздуха для гибридных тепловых электростанций в климатических условиях Вьетнама // Вестник КГЭУ. 2020. №3. С.123-134.
2. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И.Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 320 с.
3. Е.В. Стариков. Расчетно-экспериментальное исследование использования термосифонного теплообменника для получения пара с применением концентратора солнечной энергии / Е.В. Стариков, А.Т. Джайлани, А.Д. Никитин, С.Е. Щеклеин. // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология" – 2015 – № 13-14. – С. 51-57.
4. Значение солнечной инсоляции в г. Казань (Республика Татарстан) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.betaenergy.ru/insolation/kazan/> (Дата обращения 20.02.2024).

УДК 661.311.243

## МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Назыркулов Нуржигит Кубанычбекович<sup>1</sup>, Клейн Евгений Васильевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Гузель Рашидовна Мингалеева

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nazyrkulov@gmail.com <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

В статье рассмотрены материалы используемые для изготовления фотоэлектрических модулей для солнечных энергоустановок. Устройство солнечного модуля и его характеристики. В чем состоит их актуальность в наше время.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль, солнечная энергоустановка, фотоэлектрический преобразователь.

# MATERIALS FOR PHOTOVOLTAIC MODULES OF SOLAR POWER PLANTS

Nazyrkulov Nurjigit K.<sup>1</sup> Klein Evgeny V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>nazyrkulov@gmail.com <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

The article discusses the materials used for the manufacture of photovoltaic modules for solar power plants. The device of the solar module and its characteristics. What is their relevance in our time.

**Keywords:** photovoltaic module, solar power plant, photovoltaic converter.

Солнечная энергетика – перспективное направление альтернативной энергетики, использующее фотоэлектрические модули для генерации энергии. Модули состоят из фотоэлектрических преобразователей, работающих на основе фотоэффекта – преобразования излучения в электричество. Фотоэффект заключается в том, что падающее излучение придает электронам энергию, меняя их энергетическое состояние, а плотность фотоэлектрического тока пропорциональна мощности излучения [1].

Схема полупроводникового ФЭП показана на рисунке.

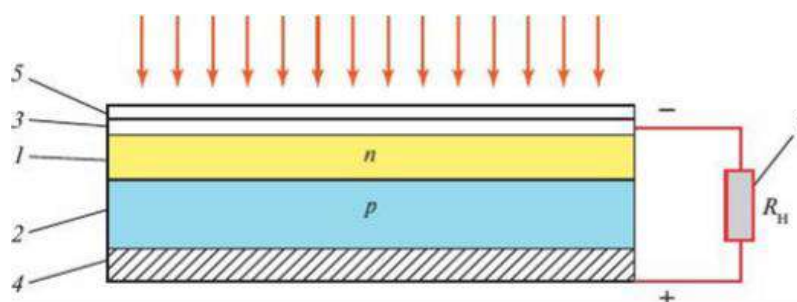


Схема фотоэлектрического преобразователя. 1- поверхностный слой ФЭП (n-тип); 2- внутренний слой ФЭП (p-тип); 3, 4 - электрические контакты; 5- защитное покрытие; 6- внешняя нагрузка R [1].

Большинство изготавливаемых в настоящее время ФЭП создаются на основе кремния Si или германия Ge. Эти в чистом виде представляют собой диэлектрики. Однако за счет легирования из них можно создавать полупроводники n-типа или p-типа, обладающие нужными для ФЭП свойствами. Для получения n-полупроводников исходный кристалл



легируется, например, элементами 5 группы: фосфором P, мышьяком As, сурьмой Sb, для получения полупроводника p-типа легирование осуществляется элементами 3 группы, например, бором B [2].

Кремний – дешевый материал, при изготовлении ФЭП его очищают до высокой степени чистоты. Затем из очищенного кремния вытягивают монокристаллы. В конце изготавливают металлические контакты на полупроводниковых слоях [2].

Широкое применение в фотоэлектрических преобразователях монокристаллического кремния объясняется рядом причин, главные из которых: достаточно высокий КПД~12-15%, большой срок работы (20 лет для герметизированных СЭ), значительные ресурсы исходного материала, отработанность технологии получения монокристаллов кремния.

Другой перспективный полупроводниковый материал – арсенид галлия GaAs. Он обладает самой высокой на сегодняшний день эффективностью – КПД до 27%. Кроме того, он проявляет стабильность при температурах выше 100 С. Однако ограниченные запасы и высокая цена сдерживают его широкое применение.

Еще одним полупроводниковым материалом является сульфид кадмия CdS. Он имеет меньший КПД, чем кварцевые элементы, но его КПД остается стабильным при высоких температурах, что является преимуществом перед кремниевыми элементами, КПД которых снижается с повышением температуры. Это свойство может быть особенно полезным в условиях жаркого климата [3].

Разработка технологии изготовления тонкопленочных полупроводниковых покрытий является перспективным направлением в создании ФЭП. Метод вакуумного напыления заключается в нанесении молекул материала на нужную поверхность, что позволяет получить КПД около 3,5% для ФЭП на основе пленки CdS. Пленки из аморфного кремния могут использоваться для массового и дешевого производства фотоэлектрических элементов, поскольку они имеют большой потенциал для снижения стоимости ФЭП и, следовательно, стоимости производимой электроэнергии [4].

Таким образом, выбор материала для фотоэлектрического модуля зависит от конкретных требований и условий эксплуатации. Каждый материал имеет свои преимущества и недостатки, и выбор должен быть основан на конкретных требованиях и условиях применения.

Материалы для фотоэлектрических модулей в солнечной энергетике играют ключевую роль в преобразовании солнечной энергии. Выбирают материалы с учетом стоимости, эффективности и стабильности модуля. В

данное время исследуют новые материалы и технологии для улучшения фотоэлектрических систем. Исследования и разработки важны из-за преимуществ солнечной энергии: она чистая, возобновляемая и дешевая, а солнечные батареи автономны, бесшумны и малогабаритны. Их используют на космических станциях и в труднодоступных местах. Технологии и инновации в этой сфере снижают стоимость и повышают эффективность батарей.

### **Источники**

1. Сборник трудов II-ой всероссийской научной конференции “наноструктурированные материалы и преобразовательные устройства для солнечной энергетики III-го поколения” Чебоксары 2014 г. В.В. Парфенов, Р.Х. Закиров, Н.В. Болтакова. Изучение работы солнечной батареи. Методическое пособие к лабораторной работе. -2014 г.

2. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний – материал нанoeлектроники Москва: Техносфера, 2007. – 352с., 3с. цв. вклейки

3. Бессель, В. В. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов / В. В. Бессель, В. Г. Кучеров, Р. Д. Мингалеева. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2016. – 90 с.

4. Парфенов В.В., Закиров Р.Х., Болтакова Н.В. Изучение работы солнечной батареи / В.В. Парфенов, Р.Х. Закиров, Н.В. Болтакова. – Казань: Казан. ун-т, 2014. – 33 с.

УДК 621.438.1

## **СРАВНЕНИЕ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЛИЩНОГО КОМПЛЕКСА КОГЕНЕРАЦИОННЫМИ УСТАНОВКАМИ НА БАЗЕ ГТУ И НА БАЗЕ ГПУ**

Насибуллин Артур Альбертович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ахметшин Азат Ринатович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>artur1120@yandex.ru

В статье проводится сравнительный анализ применения мини-ТЭЦ на базе газотурбинных установок и мини-ТЭЦ на базе газопоршневых установок для энергообеспечения жилищного комплекса. Когенерационные установки будут

сравниваться по таким критериям, как электрический КПД первичного двигателя, коэффициент использования топлива, мощность, экономичность, экологические характеристики.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, газопоршневая установка, когенерационная установка.

## **COMPARISON OF ENERGY SUPPLY OF A HOUSING COMPLEX BY COGENERATION INSTALLATIONS BASED ON GTU AND BASED ON GPU**

Nasibullin Artur A.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Akhmetshin Azat R.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>aptyp1120@yandex.ru

The article provides a comparative analysis of the use of mini-CHP based on gas turbine units and mini-CHP based on gas piston units for energy supply to a housing complex. Cogeneration plants will be compared based on criteria such as electrical efficiency of the prime engine, fuel utilization factor, power, efficiency, environmental characteristics.

**Keywords:** gas turbine plant, gas piston plant, cogeneration plant.

Жизнедеятельность населения в большой степени зависит от эффективности энергообеспечения. Источникам, производящим совместно электрическую и тепловую энергию, присуще более целесообразное использование первичного топлива, чем на отдельном производстве. Рост электро- и теплоснабжающих когенерационных установок (мини-ТЭЦ малой или средней мощности) двигает в лучшую сторону системы энергоснабжения [1-3].

В роли двигателей в мини-ТЭЦ зачастую используют газопоршневые установки или газотурбинные установки. Когенерационная установка на базе ГТУ работает за счет топливной смеси, которая поджигается в камере сгорания, образовавшиеся продукты сгорания проходят через лопатки, установленные на валу, и приводят к вращению ротора, механическая энергия передается электрогенератору, а теплота отработавших газов используется в теплоутилизаторе. В когенерационной установке на базе ГПУ двигателем является двигатель внутреннего сгорания, существует два вида с искровым зажиганием и воспламенением от сжатия топлива.

Мини-ТЭЦ следует сравнивать по многим критериям, для начала по электрическому КПД первичного двигателя и коэффициенту

использования топлива [4-6]. В зависимости от турбины газотурбинные установки имеют 25-35% электрического КПД двигателя, газопоршневые установки эффективнее газовых турбин при малой мощности, и электрический КПД двигателя от 40% до 45%. При когенерации ГТУ коэффициент использования топлива доходит до 90%, у мини-ТЭЦ на базе ГПУ коэффициент использования топлива находится в диапазоне 70-92%.

Сравнивая когенерационные установки по мощности, можно сказать, что ГТУ находится в диапазоне 0,25-300 МВт, ГПУ с искровым зажиганием от 0,003-8 МВт, ГПУ с воспламенением от сжатия лежит в диапазоне 0.2-80 МВт. Малое количество изготовителей могут предложить газопоршневую установку более 5 МВт, также немаловажно является то, что эффективное использование электрической мощности для мини-ТЭЦ на базе ГПУ начинается от 5 кВт, а для мини-ТЭЦ на базе ГТУ от 500 кВт.

Рассматривая экономическую точку зрения, ГТУ является более дорогой когенерационной установкой, в связи с большой стоимостью турбин и меньшего количества заводов-изготовителей [2-4]. С другой стороны, газопоршневые установки для размещения в районе жилой застройки нуждаются в оборудовании для уменьшения до минимума уровня шума, и большей площадью размещения, что является дополнительными затратами.

Со стороны экологичности ГПУ уступает ГТУ, так как имеет больший по удельным объемам выброс окиси азота и окиси углерода в окружающую среду [1-3]. У когенерационных установок, рассматриваемых для размещения в жилищном комплексе, экологические характеристики имеют большую важность.

В городах и районах, в которых ограничена передача теплоты и электричества на большие расстояния, или отсутствует источник тепловой и электрической энергии, целесообразно устанавливать мини-ТЭЦ. Это определено сокращением использования первичного топлива, малым расстоянием производителя от потребителя, плавным регулированием вырабатываемой мощности, что позволяет увеличить экономичность производства энергии.

Таким образом, анализируя все характеристики, для более эффективного производства энергии на нужды жилищного комплекса когенерационной установкой на базе ГТУ или на базе ГПУ, нужно изучить исходные данные и правильно оценить ожидаемый результат.

## **Источники**

1. 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.

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.

3. Ишалин А.В., Файзуллина Г.И., Марьин Г.Е. Перспективные направления получения водорода // Тинчуринские чтения - 2021 "Энергетика и цифровая трансформация", 2021. С. 182-185.

4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846.

5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

6. 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.

УДК 620.93

## **ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА В ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Нигаметзянова Суюмбика Нафиковна<sup>1</sup>, Матвеева Анна Сергеевна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Савина Мария Валерьевна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nigametzyanova2003@mail.ru, <sup>2</sup>annamatveevva87@gmail.com

В данной статье акцентируется внимание на электрический генератор, который играет важную роль в работе гидроэлектростанций, их преимущества, а так же влияние на окружающую среду.

**Ключевые слова:** гидроэлектростанция, электроэнергия, генератор.

## **THE PRINCIPLE OF OPERATION OF AN ELECTRIC GENERATOR IN A HYDROELECTRIC POWER PLANT**

Nigametzyanova Syembika N.<sup>1</sup>, Matveeva Anna S.<sup>2</sup>

Scientific advisor Savina Maria V.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>nigametzyanova2003@mail.ru, <sup>2</sup>annamatveevva87@gmail.com

This article focuses on the electric generator, which plays an important role in the operation of hydroelectric power plants, their advantages, as well as the impact on the environment.

**Keywords:** hydroelectric power station, electric power, generator.

Современные технологии производства электроэнергии акцентируют внимание на особом устройстве – электрическом генераторе, который играет важную роль в работе гидроэлектростанций. Этот сложный и многофункциональный механизм способен преобразовывать механическую энергию, возникающую при активном вращении гидротурбины под действием мощного потока воды, в электрическую энергию. Этот процесс является ключевым звеном в цепочке производства электроэнергии и обеспечивает непрерывное электроснабжение различных потребителей, включая промышленные предприятия, жилые дома, общественные здания и инфраструктуру [1].

На сегодняшний день современные гидроэлектростанции представляют собой огромные сооружения на гигаватты установленной мощности. Несмотря на это, принцип функционирования любой ГЭС в целом остается довольно простым и практически идентичным везде. Принцип работы электрического генератора в гидроэлектростанции строится на фундаментальных законах физики, в частности, на принципе электромагнитной индукции. При быстром вращении, вызванном работой гидротурбины, в обмотках генератора, которые находятся в постоянном магнитном поле, возникает электрический ток. Изначально переменный ток далее направляется на трансформаторы, где он преобразуется в высокое напряжение, необходимое для эффективного распространения электроэнергии по сетям электропередач [2].

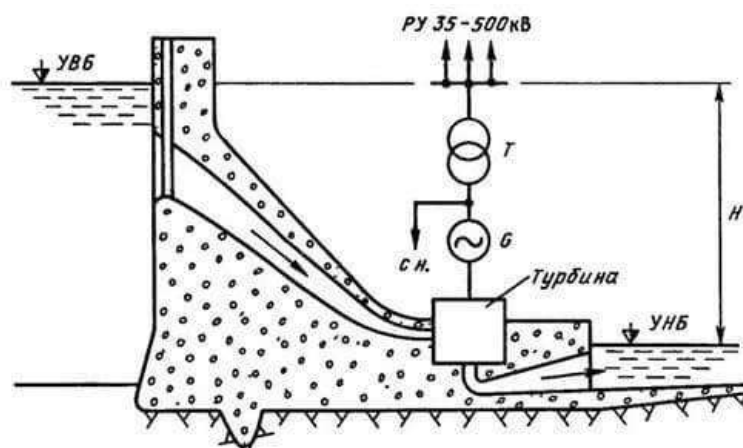


Схема работы ГЭС

Несмотря на простоту работы, гидроэлектростанция является стратегическим объектом, требующим оперативного управления. Важно не только контролировать уровень воды в резервуаре, но и регулировать подачу воды на турбины и объем производимой электроэнергии. Если река, на которой расположена станция, является судоходной, необходимо обеспечивать проход судов через специальные шлюзы. Недочеты могут привести как к техническим, так и к экологическим катастрофам [3].

На современных крупных гидроэлектростанциях обычно используют вертикальные генераторы, поскольку это упрощает их конструкцию, повышает надежность и улучшает условия эксплуатации. Кроме того, это позволяет уменьшить размеры машинного зала и здания станции в целом. Генератор является ключевым гидрооборудованием ГЭС и объединяется в единый технологический цикл с турбиной, что называется гидроагрегатом [4].

Одним из значительных плюсов гидроэлектростанций по сравнению с другими источниками энергии является их экологическая безопасность и возможность использования возобновляемого источника энергии. Благодаря этим факторам, а также эффективной работе генераторов, гидроэлектростанции способны обеспечивать стабильное и надежное электроснабжение, что имеет важное значение для современной инфраструктуры, включая промышленность, транспорт, связь и другие отрасли экономики.

### Источники

1. Мысова Е.Е., Маслов И.Н. Интеграция энергоэффективных технологий для повышения качества электроэнергии в изолированных районах с распределительной генерацией // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 99-7. С. 189-191.
2. Maslov I., Maslova G., Ishalin A., Novoselova M. Power quality assurance with balancing transformers 10/0.4KW // В сборнике: Proceedings -

ICOECS 2021: 2021 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems. 2021. С. 555-558

3. Устройство и принцип работы гидроэлектростанции [Электронный ресурс]: <https://electricalschool.info/energy/1911-princip-raboty-gidrojelektrostantsii.html> (дата обращения:06.03.2024)

4. Zhilkina Y., Vodennikov D., Maslov I. Mechanism of business entities innovative development management (organizational and economic approaches) // В сборнике: E3S Web of Conferences. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. 2019. С. 04019.

УДК 665.75

## **ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНОГО ТОПЛИВА СУДОВОЙ МАЗУТ МАРКИ Ф5 ВМЕСТО ТОПОЧНОГО М100 НА РАЙОННОЙ КОТЕЛЬНОЙ «АЗИНО» Г.КАЗАНИ**

Низамова Альфия Шарифовна<sup>1</sup>, Сунгатуллин Камиль Ильгизарович<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nizamova\_tes@mail.ru, <sup>2</sup>ksungatullin061@gmail.com

В статье рассматривается вопрос установки и выбора параметров резервного мазутного хозяйства районной котельной «Азино» г.Казани. Рассмотрены разные варианты развития событий и выбран наиболее эффективный метод содержания резервного мазутного хозяйства.

**Ключевые слова:** мазутное хозяйство, котельная.

## **THE EXPEDIENCY OF USING MARINE FUEL OIL OF THE F5 BRAND AS A BACKUP FUEL INSTEAD OF THE FURNACE M100 AT THE AZINO DISTRICT BOILER HOUSE IN KAZAN**

Nizamova Alfia Sh.<sup>1</sup>, Sungatullin Kamil I.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>nizamova\_tes@mail.ru, <sup>2</sup>ksungatullin061@gmail.com

The article deals with the issue of installation and selection of parameters of the reserve fuel oil industry of the district boiler house "Azino" in Kazan. Various scenarios are considered and the most effective method of maintaining a reserve fuel oil farm is selected.

**Keywords:** fuel oil industry, boiler house.



Как правило, мазут является резервным топливом для котельных находящихся в центральной части России. Это подразумевает под собой наличие резервного хозяйства, которое требует затрат энергии на содержание. Затраты на эксплуатацию резервного хозяйства могут составлять до 10 % мощности котлов станции. Немалая часть тепловой энергии собственных нужд станции потребляется именно мазутным хозяйством [1].

Методика расчета теплотехнологических схем мазутных хозяйств сводится, в основном, к определению количества подводимой к системе теплоты для подогрева мазута и расчету потерь в окружающую среду, а также выбору резервуаров и другого вспомогательного оборудования [2]. Объем резервуаров рассчитывается исходя из типа мазутного хозяйства (основное, резервное, аварийное, растопочное) и способа доставки.

На рассматриваемой нами котельной «Азино» объем резервуаров резервного топлива рассчитан исходя из пятисуточного расхода всех котлов при номинальном режиме работы и доставке его автомобильным транспортом [3]. Для хранения основного, резервного и растопочного топлива необходимо не менее двух резервуаров так, как в случае неполадок с одним резервуаром, второй будет являться резервным. Доставка мазута автомобильным транспортом применяется на небольшие котельные и на небольшие расстояния (до 1000 км) [4]. При доставке мазута автотранспортом мазут должен быть в разогретом состоянии.

В настоящее время для электростанций и котельных принят циркуляционный метод подогрева мазутных хозяйств [5]. Принцип действия циркуляционной системы заключается в том, что мазут забирается из нижней части резервуара, проходит через подогреватели и возвращается обратно в резервуар по линии рециркуляции. Разогрев осуществляется паром в подогревателях типа «ПМ» и «ПМР»

Основной задачей резервного мазутного хозяйства является непрерывная подача мазута к горелкам котлов для обеспечения их надежной работы. Подогрев мазута необходим для поддержания требуемой температуры с целью предотвращения его застывания и возможности транспортирования по мазутопроводам мазутными насосами. Как уже говорилось, подогрев мазута в подогревателях может осуществляться паром или сетевой водой. Однако в составе котельной нет паровых котлов, это обусловлено тем, что до модернизации третьего водогрейного котла не было предусмотрено резервного хозяйства, однако теперь в связи с увеличением потребителей тепловой энергии рассматривается вопрос установки резервуаров резервного топлива. Из

этого следует, что для поддержания мазутного хозяйства с помощью пара необходима установка парового котла. Отсутствие резервного хозяйства отрицательно сказывается на надежности котельной. В случае аварийного отключения газа, потребители тепловой энергии могут остаться без тепла или получить тепло в недостаточном количестве по кольцевой схеме теплоснабжения. Все ТЭЦ и районные котельные города Казани закольцованы по трубопроводам теплоснабжения и в случае аварийной ситуации потребители не останутся без теплоснабжения, но скорее всего получат его не в полном объеме. Поэтому в районной котельной «Азино» остро стоит вопрос выбора схемы и параметров резервного мазутного хозяйства.

Так как установка парового котла нецелесообразна предлагается использовать в качестве резервного топлива флотский мазут марки Ф5, методом холодного хранения, подогрев осуществлять обратной или прямой сетевой водой в целях экономии энергии на подогрев.

### **Источники**

1. Зиятдинов, Р.М. К вопросу о мазутном хозяйстве / Р. М. Зиятдинов. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2015. – № 9 (89). – С. 237-240. – URL: <https://moluch.ru/archive/89/18091/> (дата обращения: 26.02.2024).

2. Шамсутдинов, Э.В. Алгоритм разработки и оценки эффективности использования энергосберегающих мероприятий для мазутных хозяйств ТЭС и крупных котельных

3. Назмеев, Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 612 с.

4. Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергия, 1976. – 447 с

5. Шагеев, М.Ф. Определение времени разогрева водомазутной эмульсии в резервуарах при хранении на ТЭС и промышленных предприятиях / В. В. Лопухов, Бушара Салахелдин // Экспозиция Нефть Газ. 2009. №4.

## СИНТЕЗ-ГАЗ КАК ТОПЛИВО ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Новоселова Марина Сергеевна

Науч. рук, д-р техн. наук, доц. Мингалеева Г.Р.

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

nova-mara0607@list.ru

Использование синтез-газа, полученного при газификации угля, как топлива для газотурбинных установок ограничивается его энергетическими характеристиками. Добавление к нему водорода может повысить эти характеристики повышая конкурентоспособность генераторного газа. Рассматривается изменение энергетических характеристик синтез-газа при добавлении 10-90% водорода.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, синтез-газ, генераторный газ.

## SYNTHESIS GAS AS FUEL FOR GAS TURBINE PLANTS

Novoselova Marina S.

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

nova-mara0607@list.ru

The use of synthesis gas obtained during coal gasification as fuel for gas turbine plant is limited by its energy characteristics. Adding hydrogen to it can enhance these characteristics by increasing the competitiveness of the generator gas. The change in the energy characteristics of the syngas with the addition of 10-90% hydrogen is considered.

**Keywords:** gas turbine plant, synthesis gas, syngas, generator gas.

В связи с ограниченностью ископаемого топлива, существует потребность в поиске альтернатив. На данный момент развивается несколько составов топлива, однако синтез-газ является наименее приоритетным.

В состав синтез-газа, полученного при газификации угля, в основном входит оксид углерода ( $CO$ ) и водород ( $H_2$ ), также может присутствовать небольшое количество двуокиси углерода ( $CO_2$ ), причем как правило преобладает  $CO$ . Содержание  $H_2$  мало, составляя всего несколько

процентов от общего объема газа. Такой набор компонентов обуславливает низкую теплотворную способность генераторного газа.

Повышение энергетических характеристик синтез-газа позволит увеличить его конкурентоспособность относительно других видов топлива, используемых в ГТУ. Для этих целей можно использовать водород, который будет добавляться в топливную смесь, уменьшая концентрацию негорючих веществ.

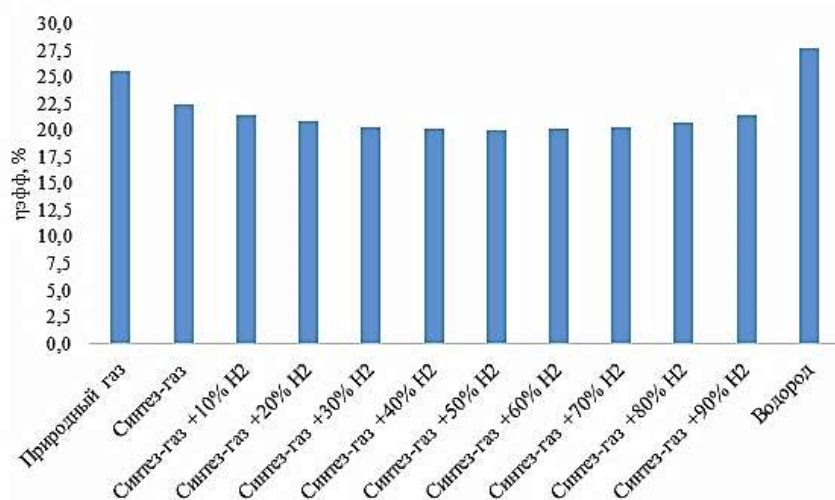
Чтобы проанализировать эффект от использования предложенной газовой смеси, было проведено сравнение работы газотурбинной установки НК-16-18 СТ [1] на природном газе, синтез-газе и генераторном газе с добавлением 10-90% водорода на основе математического моделирования в АС ГРЭТ [2]. Исходным топливным газом для подмешивания был выбран синтез-газ, полученный при газификации Олонь-Шибирского угля марки Д [3].

На рисунке показано изменение эффективного КПД газотурбинной установки типа НК-16-18 СТ в зависимости от количества добавленного водорода в синтез-газ, а также приведено сравнение с КПД работы ГТУ на природном газе и водороде.

В итоге получены следующие результаты:

– положительный эффект от смешивания синтез-газа и водорода становится очевидным начиная с добавления 60% от начального объема генераторного газа;

– приближенные значения теплотворной способности синтез-газа к теплоте сгорания природного при добавлении 80% от исходного объема генераторного газа.



Изменение эффективного КПД ГТУ в зависимости от состава используемого топлива.

## Источники

1. Новоселова М. С. Оценка эксплуатационных характеристик ГТУ типа НК-16-18 СТ // Тинчуринские чтения - 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. Казань, 26–28 апреля 2023 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Т. 2. – Казань: КГЭУ, 2023. – С. 730-733.

2. Титов А. В. Представление характеристик узлов в математической модели газотурбинной установки / А. В. Титов, Б. М. Осипов, Н. В. Николаева // Вестник КГЭУ – 2017. – № 2(34). – С. 43-49.

3. Галькеева А. А. Анализ применения углей различных марок для производства энергии и химических продуктов / А. А. Галькеева, Г. Р. Мингалеева, С. Ю. Горбунов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2015. – № 11-12. – С. 69-79.

УДК 621

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Орлов Александр Сергеевич

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, республика Татарстана

sanho\_40@mail.ru

В работе рассмотрены метод автоматизации проектирования оборудования для энергетики и алгоритм изготовления изделия и его автоматизация. Оценка применения автоматизированного моделирования в энергетическом машиностроении.

**Ключевые слова:** кожухотрубный теплообменник, автоматизация алгоритма, анализ физических процессов, 3D моделирование, энергетическое оборудование.

## AUTOMATED MODELING

Orlov Alexandr S.

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

sanho\_40@mail.ru

The paper considers the method of automation of the design of equipment for energy and the algorithm of manufacturing the product and its automation. Evaluation of the application of automated modeling in power engineering.

**Keywords:** shell-and-tube heat exchanger, algorithm automation, analysis of physical processes, 3D modeling, power equipment.

Широкое применение 3D моделирование нашло во многих сферах деятельности. Особенно в промышленности. Инженерное моделирование необходимо для получения технической документации, а также для проведения анализа физических процессов на том или ином будущем изделии, что называется САЕ-системой. Для упрощения и уменьшения времени на исследование и разработки новых конструкций используются САД-системы, которые автоматизируют процессы проектирования [1-2].

Каждая программа для 3D-моделирования написана на своём коде, который чаще всего не меняется. Но этим кодом можно пользоваться. Например, программа Компас3D даёт возможность написать внутри программы свой код, который будет описывать систему этапов построения или оформления технической документации на понятной для программы языке [3].

Есть возможность использования автомоделирования в алгоритмах, используемых в энергетическом машиностроении. Автоматизированное моделирование в энергетическом машиностроении может быть применено для проектирования и анализа различных энергетических машин и основного оборудования, таких как турбины, генераторы, котлы, компрессоры и вспомогательного, таких как теплообменники и насосы. Оно позволяет проводить анализ работы этих машин в различных условиях, оценивать их эффективность, надёжность и безопасность.

Одним из наиболее встречающихся видов вспомогательно оборудования на электростанциях являются кожухотрубные теплообменники. В целом, кожухотрубные теплообменники являются надёжным и эффективным решением для передачи тепла. Существует несколько различных видов кожухотрубных теплообменников, каждый из которых имеет свои особенности и применяется в зависимости от конкретных условий работы и требований заказчика. Так же кожухотрубные теплообменники одного и того же вида могут быть адаптированы под различные условия работы и требования заказчика, что означает их различность в геометрических характеристиках [4]. С автоматизированным моделированием достаточно один раз сформулировать этапы построения и анализа одного теплообменника, а

для остальных использовать эти этапы повторно. Это можно сделать описанием этапов построения логическими выражениями, то есть кодом, который будет прорабатывать раз за разом одни и те же этапы, но уже с другой геометрией. Сами геометрические характеристики же, можно привязать к расчету теплообменника, который тоже может быть автоматизирован, а результаты записывать в базу данных, к которой будет привязан код, и вся информация будет браться из этой базы данных для построения модели. Таким образом для того, чтобы построить модель, достаточно будет вписать исходные данные теплообменника, а весь процесс выполнится автоматически. По построенной модели мы можем провести анализ физических процессов, который позволит нам определить правильность расчета и выбранных коэффициентов, а также подобрать оптимальные или минимальные исходные данные с практической и экономической точки зрения. Плюсами являются ускорение всего алгоритма, так как модель будет строиться автоматически, учитывая все изменения и безошибочность.

Весь алгоритм изготовления кожухотрубного теплообменника можно представить в виде, представленном на рисунке 1.

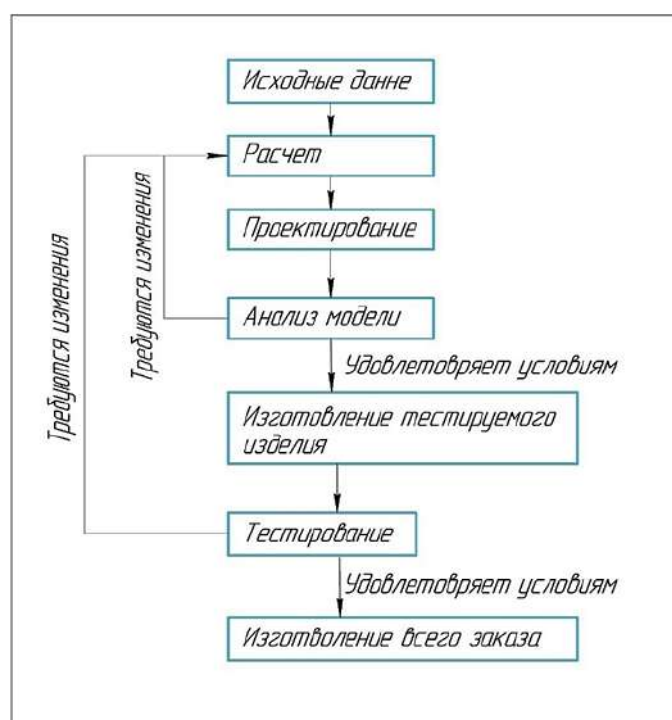


Рис. 1.

На рисунке 2 представлена часть кода построения распределительной камеры кожухотрубного теплообменника, написанного в Компас 3D.

```

iSketch = iPart.NewEntity(kompas6_constants_3d.o3d_sketch)
iDefinition = iSketch.GetDefinition()
iPlane = iPart.GetDefaultEntity(kompas6_constants_3d.o3d_planeXOZ)
iDefinition.SetPlane(iPlane)
iSketch.Create()
iDocument2D = iDefinition.BeginEdit()
kompas_document_2d = kompas_api7_module.IKompasDocument2D(kompas_document)
iDocument2D = kompas_object.ActiveDocument2D()

obj = iDocument2D.ksLineSeg(0, d1/2, l1, d1/2, 1)
obj = iDocument2D.ksLineSeg(l1+l2, d2/2, l1+l2+l3, d2/2, 1)
obj = iDocument2D.ksLineSeg(l1, d1/2, l1+l2, d2/2, 1)
iDefinition.EndEdit()
iDefinition.angle = 180
iSketch.Update()
iPart7 = kompas_document_3d.TopPart
iPart = iDocument3D.GetPart(kompas6_constants_3d.pTop_Part)

obj = iPart.NewEntity(kompas6_constants_3d.o3d_bossRotated)
iDefinition = obj.GetDefinition()
iCollection = iPart.EntityCollection(kompas6_constants_3d.o3d_edge)
iCollection.SelectByPoint(0, 0, d1/2)
iEdge = iCollection.Last()
iEdgeDefinition = iEdge.GetDefinition()
iSketch = iEdgeDefinition.GetOwnerEntity()
iDefinition.SetSketch(iSketch)
iRotatedParam = iDefinition.RotatedParam()
iRotatedParam.direction = kompas6_constants_3d.dtNormal
iRotatedParam.angleNormal = 360
iRotatedParam.angleReverse = 0
iRotatedParam.toroidShape = True
iRotated = kompas_object.TransferInterface(obj, kompas6_constants.ksAPI7Dual, 0)
iAxis = iPart.GetDefaultEntity(kompas6_constants_3d.o3d_axisOX)
iRotatedAxis = kompas_object.TransferInterface(iAxis, kompas6_constants.ksAPI7Dual, 0)
iRotated.Axis = iRotatedAxis
iThinParam = iDefinition.ThinParam()
iThinParam.thin = True
iThinParam.thinType = kompas6_constants_3d.dtBoth
iThinParam.normalThickness = 0
iThinParam.reverseThickness = b4
obj.name = "Распред камера"
obj.Create()
iPart7 = kompas_document_3d.TopPart
iPart = iDocument3D.GetPart(kompas6_constants_3d.pTop_Part)

```

Рис. 2.

Строки представленные на рисунке 2, описывают построение эскиза и вращение этого эскиза вокруг оси. Координаты построения записаны переменными, которые берутся из базы данных.

Написание кода по затратам времени и средств у опытного и знающего языки программирования человека, сравним с проектированием модели. Отличие автоматизированного моделирования от традиционного в том, что эти затраты тратятся одновременно. Писать код не обязательно вручную, так как многие программы по 3D моделированию, такие как Компас 3D и ANSYS, могут сами записывать код этапов построения. Полученный код нужно лишь адаптировать и привязать к нужной базе данных.

## Источники

1. Самохина Н.С. Использование CAD/CAE систем для оценки точности технологических систем // Информационные технологии. радиоэлектроника. телекоммуникации. 2012. № 2-3. с. 185-190.

2. Кузнецов А.А., Решетников Е.В. Автоматизированная система разработки эффективной структуры-стратегии подготовки производства в



CAD/CAM/CAE-системах // Молодые ученые - первые шаги третьего тысячелетия. 2000. С. 44-45.

3. Джураев А.А., Алехин А.А. Использование параметрических возможностей САПР Компас 3Д // Инженерное обеспечение инновационных технологий АПК. 2022. С. 57-60.

4. Шальнов С.С. Преимущества и недостатки основных типов теплообменных аппаратов, применяемых в энергоснабжении жилых зданий и производственных объектов // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. 2018. С. 46-49.

УДК 621.428

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ ВОДОРОДА К ПРИРОДНОМУ ГАЗУ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОПАТКИ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

Орлов Александр Сергеевич<sup>1</sup>, Гарипов Марат Илшатович<sup>2</sup>  
Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, республика Татарстана  
<sup>1</sup>sanho\_40@mail.ru, <sup>2</sup>marat-garipov-2016@mail.ru

В работе рассмотрены негативные и положительные воздействия на лопатки турбины. Были рассмотрены явления водородной и сульфидной коррозии и как они проявляются.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, лопатка турбины, сульфидная коррозия, водородная коррозия, водород.

## **INVESTIGATION OF THE ADDITION OF HYDROGEN TO NATURAL GAS AND ITS EFFECT ON THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A GAS TURBINE BLADE**

Orlov Alexandr S.<sup>1</sup>, Garipov Marat I.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>sanho\_40@mail.ru, <sup>2</sup>marat-garipov-2016@mail.ru

The paper considers the negative and positive effects on turbine blades. The phenomena of hydrogen and sulfide corrosion and how they manifest themselves were considered.

**Keywords:** gas turbine unit, turbine blade, sulfide corrosion, hydrogen corrosion, hydrogen.

С момента создания газовых турбин не прекращаются их исследования и усовершенствования. Целями таких исследований являются: повышение эффективности работы, увеличение срока службы, улучшение экологических показателей и другие. Очень часто предпочтения отдают не разработке новой улучшенной ГТУ, а модернизации уже существующей. Особое внимание в модернизации ГТУ уделяют добавлению различных веществ в состав топлива или использование альтернативного топлива [1-3].

Чтобы снизить количество выбросов вредных веществ, а также улучшить эксплуатационные характеристики, может применяться водород. В тоже время использование водорода означает высокую стоимость и сложность транспортировки.

При использовании водорода в качестве топлива необходимо учитывать технические характеристики установки и требования к её работе. Например, стоит учесть, что водород может оказывать негативное влияние на лопатки турбины, а высокие температура и давление усилят эффект. Водород может проникать в металл и образовывать водородные пузырьки, что может привести к разрушению металла. Это явление называют водородной коррозией [4-6].

Водородная коррозия может привести к снижению прочности металла, ухудшению его механических свойств и даже к его разрушению. Это особенно актуально для металлов, которые используются при изготовлении лопаток ГТУ. Например, никель является основой многих сплавов, из которых изготавливают лопатки.

Для предотвращения водородной коррозии лопаток используются различные методы. Например, применяются специальные покрытия, которые предотвращают проникновение водорода в металл, такие как титановые и алюминиевые покрытия. Титан и алюминий наиболее стойкие металлы к водородной коррозии.

Водород имеет и положительное влияние на лопатки турбины. Он может использоваться в качестве защиты от сульфидной коррозии. Сульфидная коррозия – это процесс, при котором металл подвергается коррозии из-за присутствия серы в топливе. Водород предотвращает

образование сульфидов. Это может быть полезно для улучшения эксплуатационных характеристик установки и увеличения срока службы. В таком случае водород будет иметь не такие большие негативные воздействия, как использование его в качестве альтернативного топлива.

В целом, водород может оказывать как негативное, так и положительное влияние на лопатки турбины [3-5]. Использование в ГТУ водорода требует тщательного контроля и проведения всех работ в соответствии с требованиями безопасности. Следует уделять внимание концентрации водорода, а также металлам, используемых для изготовления лопатки.

### **Источники**

1. Марьин Г. Е., Осипов Б. М., Титов А. В., Ахметшин А. Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035.

2. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 2020. С. 4430-4433.

3. Марьин, Г. Е. Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марьин Георгий Евгеньевич, 2023. 247 с.

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.

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.

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.

УДК 621.438

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ГТУ SGT-600 В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ АС ГРЭТ

Петров Дэнис Николаевич<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Титов Александр Вячеславович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>denis200233@yandex.ru

Модернизация ГТУ позволяет улучшить их производительность, надежность и экологические характеристики, что может привести к снижению затрат на эксплуатацию и обслуживание, а также повысить эффективность использования энергии. В статье предложен вариант модернизации газовой турбины SGT-600 путем улучшения системы охлаждения компрессора, что отражается в улучшении надежности и эффективности работы турбины.

**Ключевые слова:** газовая турбина, компрессор, SGT-600, охлаждение, АС ГРЭТ, климатические характеристики.

## RESEARCH ON THE MODERNIZATION OF SGT-600 GTU IN THE AS GRET SOFTWARE PACKAGE

Petrov Denis N.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.

Scientific advisor Titov Alexander V.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>denis200233@yandex.ru

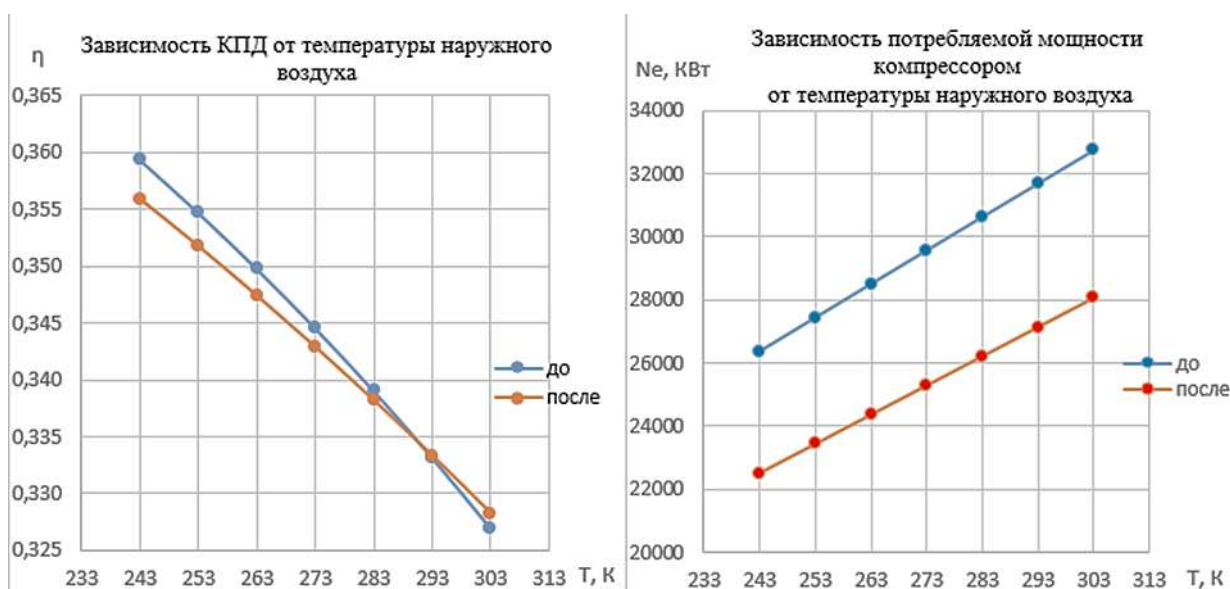
Modernization of GTU allows to improve their performance, reliability and environmental characteristics, which can lead to lower operating and maintenance costs, as well as increase energy efficiency. The article proposes an option for upgrading the SGT-600 gas turbine by improving the compressor cooling system, which is reflected in improving the reliability and efficiency of the turbine.

**Keywords:** gas turbine, compressor, SGT-600, cooling, AS GRET, climatic characteristics.

Охлаждение газовых турбин используется с целью поддержания оптимальных температур, что позволяет обеспечить эффективную работу турбины и продлить срок её службы. Существует множество методов охлаждения турбины, в данной работе предложен вариант со ступенчатым сжатие с промежуточным охлаждением. Такой подход обусловлен желанием уменьшить затраты энергии компрессором на сжатие воздуха, а, следовательно, увеличением полезной работы при расширении газа [1-2].

Для проведения исследования и получения исходных характеристик была создана расчетная схема, включающая в себя входное устройство, компрессор, камеру сгорания, турбину, агрегаты, силовую (свободную) турбину; с учётом что SGT-600 – двухвальная машина. Для определения пользы от проведения модернизации газотурбинной установки в расчетную схему были внесены изменения, а именно был добавлен теплообменник-регенератор, который делит компрессор на две секции, обеспечивающие равную степень повышения давления. Также были сформированы закон управления и массив результатов, куда выводятся значения необходимых характеристик[3-4].

Далее был проведен расчет климатических характеристик (см. рисунок) со следующими исходными данными: температура окружающей среды в диапазоне [243; 303] К с шагом в 10 К, давление окружающей среды  $P=0.1013$  МПа, мощность двигателя  $N_{гт\gamma}=25$  МВт, температура газов в камере сгорания  $T=1388$  К, степень повышения давления  $\pi_k=14$ .



Графики исследуемых характеристик двигателя

Из графиков следует, что при низких значениях температуры окружающей среды КПД модернизированной установки меньше в среднем на 0,003%. При повышении температуры разница КПД снижается, а в точке с максимально рассматриваемой температурой значение выше чем у исходной схемы. Мощность, потребляемая компрессором в модернизированной схеме намного ниже, а выигрыш в среднем составляет 4 МВт [5].

Эффект от модернизации зависит от температуры окружающего воздуха, в странах с высокими среднемесячными температурами он будет более выражен. Дальнейшее развитие данной темы достигается благодаря совместному использованию промежуточного охлаждения воздуха в компрессоре и утилизации (регенерации) теплоты с уходящими газами [6].

### **Источники**

1. 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.

2. Осипов Б.М., Титов А.В. Автоматизированная система газодинамических расчетов энергетических турбомашин. Казань: изд. КГЭУ. 2012. 277 с.

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.

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.

5. Ишалин А.В., Файзуллина Г.И., Марьин Г.Е. Перспективные направления получения водорода // Тинчуринские чтения - 2021 "Энергетика и цифровая трансформация", 2021. С. 182-185.

6. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

## МОНИТОРИНГ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С ЦЕЛЬЮ СВОЕВРЕМЕННОЙ АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ

Петров Дэнис Николаевич<sup>1</sup>, Орлов Александр Сергеевич<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>denis200233@yandex.ru, <sup>2</sup>sanho\_40@mail.ru

В статье рассматривается целесообразность мониторинга электрических нагрузок с целью своевременной актуализации нормативной базы, определяемый перечень задач и способы их решения, а также положительный эффект от данной практики.

**Ключевые слова:** мониторинг, нормативная база, система электроснабжения, энергоэффективность.

## MONITORING OF ELECTRICAL LOADS IN ORDER TO TIMELY UPDATE THE REGULATORY FRAMEWORK

Petrov Denis N.<sup>1</sup>, Orlov Alexander S.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Maslov Igor N.  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>denis200233@yandex.ru, <sup>2</sup>sanho\_40@mail.ru

The article considers the expediency of monitoring electrical loads in order to timely update the regulatory framework, a defined list of tasks and ways to solve them, as well as the positive effect of this practice.

**Keywords:** monitoring, regulatory framework, power supply system, energy efficiency.

Мониторинг электроснабжения включает в себя автоматизацию и диспетчеризацию, которые обеспечивают эффективную эксплуатацию объектов повышенной ответственности, это процесс постоянного наблюдения и контроля за состоянием и работой системы электроснабжения [1-3].

Он включает в себя следующие задачи: контроль качества и потребления электроэнергии, что позволяет определить соответствие установленным нормативам; обнаружение и предупреждение аварий в системе электроснабжения (обнаружение перегрузок, коротких замыканий

и др.); управление нагрузкой, что включает в себя её балансировку, оптимизацию использования ресурсов и предотвращения перегрузок; анализ данных, трендов, выявление паттернов и прогнозирования будущих потребностей; управление энергоэффективностью, включающее в себя измерение энергопотребления, выявление неэффективных процессов и принятие мер по повышению энергоэффективности; контролирование и управление резервными источниками питания, такими как генераторы или аккумуляторы, включающий в себя контроль уровня заряда, обнаружение неисправностей и автоматическое переключение на резервное питание [4-6].

Для выполнения задач следует: установить систему мониторинга, оборудование, позволяющее получать данные в реальном времени; регулярно анализировать полученные данные о потреблении энергии и нагрузках, чтобы выявлять пики потребления, неэффективные процессы и возможные варианты улучшения; в случае выявления отклонений от нормативов, принять необходимые меры для оптимизации потребления энергии, улучшения эффективности и соблюдения законодательства; вносить изменения в нормативную базу и процессы в соответствии с полученными данными и опытом работы, чтобы обеспечить постоянную актуальность и эффективность системы.

Как показывает практика загрузка трансформаторных подстанций предприятиями, жилыми комплексами, общественными зданиями не превышает 30-40 %, и чаще всего находится на уровне загрузки в 10-15%. Так при проектировании электрических сетей для жилых комплексов используют документ СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» который уже не отвечает актуальным представлениям об электропотреблении. Трансформаторные подстанции, построенные для жилых домов имеют большие запасы по прочности, а в совокупности с их малой загруженностью это свидетельствует о повышенных потерях в них.

Мониторинг за изменением расчетных электрических нагрузок позволит снизить расходы на системы электроснабжения на основе формирования статистически обоснованных нагрузок жилых и общественных зданий, разработки методики расчета электрических нагрузок района.

### **Источники**

1. 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.

2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.

4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

УДК 621.438

## **ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭНЕРГОАУДИТА ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

Петрова Дарья Дмитриевна<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>2003.pdd@mail.ru

Энергоаудит газотурбинных установок является неотъемлемой частью эффективного управления энергопотреблением в различных отраслях промышленности. В связи с этим в данной статье будет рассмотрена программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок.

**Ключевые слова:** энергоаудит, газотурбинные установки, программная среда, оценка энергопотребления, энергосберегающие меры.

# SOFTWARE ENVIRONMENT FOR ENERGY AUDIT OF GAS TURBINE INSTALLATIONS

Petrova Daria D.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup> 2003.pdd@mail.ru

The energy audit of gas turbine installations is an integral part of effective energy management in various industries. In this regard, this article will consider the software environment for conducting an energy audit of gas turbine installations.

**Keywords:** energy audit, gas turbine installations, software environment, energy consumption assessment, energy saving measures.

В современном мире, где ресурсы становятся все более ограниченными, энергоаудит становится важным инструментом для снижения эксплуатационных затрат и улучшения конкурентоспособности предприятий. Газотурбинные установки отличаются высокой энергоэффективностью, однако с течением времени возникают проблемы, которые могут привести к снижению их эффективности [1-3]. Основные проблемы, требующие проведения энергоаудита газотурбинных установок, включают потери энергии в результате износа и неполадок в работе оборудования, неэффективное использование топлива, недостаточное управление процессами работы газотурбинных установок. Отсутствие своевременного аудита может привести к значительным финансовым потерям и негативно сказаться на экологии окружающей среды [1]. Проведение энергоаудита газотурбинных установок позволяет выявить возможности для оптимизации работы, улучшения технического состояния и расширения ресурса оборудования. Оптимизация работы установок может включать в себя внедрение новых технологий, улучшение системы управления, снижение потерь энергии на различных этапах процесса производства. В результате удастся достичь повышения эффективности работы установок и снижения затрат на энергопотребление. Для проведения энергоаудита газотурбинных установок необходима компетентная команда экспертов, включающая специалистов по газотурбинным технологиям, энергетическому оборудованию и автоматизации. Они проводят тщательный анализ технических параметров установок, изучают статистические данные и производственные процессы, обращают внимание на оборудование, его состояние и наличие потенциальных проблем. Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок – инновационный инструмент, специально разработанный для оптимизации эффективности и снижения энергопотребления газотурбинных установок. Эта уникальная программа предлагает комплексный подход к анализу и оценке энергетической

эффективности установок, а также помогает выявить потенциал для улучшения эффективности работы. Главной задачей данной программной среды является проведение всесторонней экспертизы работы газотурбинных установок с целью выявления узких мест, оптимизации процессов и улучшения экономических показателей. Это позволяет не только сокращать затраты на энергопотребление, но и снижать негативное воздействие на окружающую среду. Программная среда для энергоаудита газотурбинных установок предлагает множество возможностей. Во-первых, она предоставляет анализ текущего состояния системы газотурбинной установки, включая оценку энергопотребления, работу основных компонентов и эффективность процесса горения. Благодаря этому, можно выявить узкие места и определить направления для улучшения работы установки. Во-вторых, программная среда обладает функционалом для моделирования различных сценариев работы газотурбинных установок, что позволяет определить оптимальные условия эксплуатации. Это включает в себя управление режимами работы, установку оптимальных параметров, а также идентификацию возможных рисков и проблем в работе системы. В-третьих, данная программа обеспечивает подробный анализ результатов аудита и предоставляет комплексный отчет о текущем состоянии и потенциале для улучшения экономической эффективности. Пользователи получают точные и надежные данные для принятия взвешенных решений, направленных на повышение эффективности работы газотурбинных установок [4, 5]. В завершении, энергоаудит газотурбинных установок – это необходимость для предприятий, желающих повысить свою энергоэффективность, снизить эксплуатационные затраты и быть экологически ответственными. Он помогает определить энергосберегающие меры, улучшить техническое состояние оборудования и достичь оптимальных показателей работы газотурбинных установок. Благодаря энергоаудиту организации могут обеспечить более эффективную и устойчивую работу своих газотурбинных установок, что положительно сказывается на их конкурентоспособности и вкладывается в общую стратегию устойчивого развития. Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок является незаменимым помощником в области оптимизации и модернизации энергетических систем. Благодаря ее использованию, компании и предприятия могут значительно снизить энергопотребление, улучшить экономические показатели и внести свой вклад в устойчивое развитие.

#### **Источники**

1. 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.

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.

3. Ишалин А.В., Файзуллина Г.И., Марьин Г.Е. Перспективные направления получения водорода // Тинчуринские чтения - 2021 "Энергетика и цифровая трансформация", 2021. С. 182-185.

4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846.

5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

УДК 620.9

## **РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В ИЗОЛИРОВАННОМ РАЙОНЕ**

Петрова Дарья Дмитриевна<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>  
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>2003.pdd@mail.ru

В данной статье автором освещается тема, связанная с расчетом энергетических характеристик генерирующего оборудования в изолируемом районе. Описаны шаги в расчете энергетических характеристик. Кроме этого автор говорит о том, как рассчитываются параметры тепла и электричества для отдельно взятого района.

**Ключевые слова:** энергетические характеристики, энергоэффективность, генерирующее оборудование, изолированный район, энергоснабжение.

## **CALCULATION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF GENERATING EQUIPMENT IN AN ISOLATED AREA**

Petrova Daria D.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup> 2003.pdd@mail.ru

In this article, the author highlights a topic related to the calculation of the energy characteristics of generating equipment in an isolated area. The steps in calculating the energy characteristics are described. In addition, the author talks about how the parameters of heat and electricity are calculated for a particular area.

**Keywords:** energy characteristics, energy efficiency, generating equipment, isolated area, energy supply.

Изучение и анализ энергетических характеристик генерирующего оборудования в изолированных районах является неотъемлемой и важной задачей для обеспечения непрерывного и стабильного энергоснабжения в таких территориях. Первым шагом в расчете энергетических характеристик является определение необходимой мощности, которая должна быть предоставлена в изолированном районе [1-3]. Для этого проводится анализ потребностей и нагрузки, учитывая факторы, такие как население, инфраструктура, климатические условия и производственные мощности [4-6]. Используются различные методики и моделирование, чтобы получить точные данные для дальнейшего анализа [4]. Затем производится выбор подходящего генерирующего оборудования, которое бы лучше всего отвечало требованиям и особенностям изолированного района. Определяется оптимальное сочетание источников энергии, таких как дизельные генераторы, солнечные панели, ветрогенераторы или ГЭС, чтобы обеспечить надежную и эффективную работу системы. Далее осуществляется технический и экономический анализ, который включает оценку стоимости оборудования, его потенциальную энергоэффективность, техническую практичность, а также анализ возможных рисков и неопределенностей. Это позволяет определить наиболее оптимальное решение с точки зрения затрат и эффективности. Когда все данные собраны и проанализированы, составляется подробный отчет, включающий информацию о выбранном оборудовании, его прогнозируемой производительности, энергетической эффективности и экономических показателях. В итоге, расчет энергетических характеристик генерирующего оборудования в изолированном районе – это сложный и многогранный процесс, требующий глубоких знаний и опыта в области энергетики. Однако, он является важным шагом для обеспечения стабильного и эффективного энергоснабжения в удаленных от центров энергетики территориях [1]. Для расчёта параметров тепла и электричества для отдельно взятого района необходимо учесть несколько ключевых факторов. Во-первых, структура и площадь зданий в данном районе.

Количество жилых и коммерческих объектов, а также их нормируемая потребность в тепле и электроэнергии, которые играют решающую роль в определении необходимых параметров. Во-вторых, климатические условия региона. Величина средней температуры воздуха в разные времена года и наличие сезонных колебаний определяют объем потребления тепла в отопительных системах. Также учитывается вероятность экстремально холодной погоды, что требует дополнительных мер по обеспечению теплоснабжения [3]. Кроме того, в анализе должен быть принят во внимание потенциал использования возобновляемых источников энергии. Наличие солнечной, ветровой или гидроэнергетической инфраструктуры может существенно повлиять на возможность генерации электроэнергии в данном районе и соответственно на выбор оптимальных параметров. Также важно учесть наличие существующей инфраструктуры для транспортировки и распределения тепла и электроэнергии. Качество и мощность существующих систем транспортировки определяют возможность подключения новых источников тепла и электроэнергии. Общая стоимость строительства и эксплуатации системы также влияет на расчёт параметров тепла и электричества. Финансовая составляющая включает в себя затраты на строительство, обслуживание и обновление оборудования, а также затраты на управление системой. И, наконец, правовые и регуляторные факторы также оказывают влияние на расчёт параметров тепла и электричества. Нормативные акты и правила, устанавливающие требования к качеству и безопасности теплоснабжения и электроснабжения, определяют необходимые характеристики и объемы производства тепла и электричества. В связи с вышеперечисленными факторами, расчёт параметров тепла и электричества для отдельно взятого района является сложной и многогранной задачей, требующей комплексного подхода и учета всех факторов, влияющих на потребности и условия эксплуатации данного района [2].

### **Источники**

1. 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.
2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.

4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

УДК 621.928.37

## **НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГИДРОЦИКЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ РАСШИРЕНИЯ ИХ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ**

Порозова Анастасия Алексеевна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Лаптев Сергей Александрович

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

porozovanastua@gmail.com

Большое разнообразие гидроциклонного оборудования позволяет выявить основные направления и приемы дальнейшего совершенствования конструкций и расширить область применения.

**Ключевые слова:** гидроциклонное оборудование, многопродуктовые гидроциклоны, совершенствование конструкций.

## **DIRECTIONS FOR IMPROVING HYDROCYCLONE EQUIPMENT TO EXPAND THE AREA OF APPLICATION**

Porozova Anastasia A.

Scientific advisor Laptev Sergey A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

porozovanastua@gmail.com

A wide variety of hydrocyclone equipment makes it possible to identify the main directions and techniques for further improvement of designs and expand the scope of application.

**Keywords:** hydrocyclone equipment, multi-product hydrocyclones, design improvement.

Гидроциклоны предназначены для гидродинамического воздействия на смеси жидкость-жидкость, жидкость-твердая фаза, жидкость с растворенными газами, а также на смеси, содержащие одновременно три и более компонентов в различных сочетаниях.

В гидроциклоне используется вихревое движение потоков, которое в сочетании центробежной силы, силы тяжести и сил трения о стенки позволяет создать благоприятные условия для сепарации смеси на компоненты.

Традиционная, наиболее распространенная форма двухпродуктового гидроциклона представляет собой цилиндроконическую конструкцию с тангенциальным вводом смеси в цилиндрическую часть и при наличии двух выводных патрубков, расположенных с противоположных сторон вдоль центральной оси.

Существуют конструкции трехпродуктового и многопродуктового гидроциклона, позволяющие получать в результате сепарации сразу несколько компонентов. Например, в одном гидроциклоне можно выделить из смеси твердую дисперсную фазу, две фракции несмешивающихся жидкостей и газообразный компонент [1-3].

Анализ патентной информации, научных статей позволили выявить характерные направления и приемы, используемые при создании новых и совершенствовании существующих конструкций для повышения эффективности разделения.

Не меняя в основном базовой геометрии, увеличения эффективности разделения достигают при помощи: изменения входных и выходных проходных сечений (используются наборы диафрагм); использованием на внутренней конической части неровностей различной формы;



использование в приосевой части дополнительного разрежения, для предотвращения уноса не отсепарированной фазы; использование подвижных принудительно вращающихся частей (турбоциклоны); совместного использования насосов (гидроциклонные насосные установки) [4-6]. В дополнении могут использоваться во входных, выходных и промежуточных сечениях регулирующие элементы, позволяющие во время работы устройства выводить его на нужный режим работы как вручную, так и при помощи средств автоматизации.

Усовершенствование конструкций гидроциклонного типа, соответственно вносит изменения в традиционные методики расчета. На современном этапе решение указанных задач по совершенствованию может быть достигнуто с экспериментальными исследованиями на модельных конструкциях, так и методами численного моделирования гидродинамических параметров [7]. При достаточно сложных геометрических формах элементов конструкции при решения прочностных задач, можно использовать современные программные продукты [8].

### **Источники**

1. Механическая очистка жиросодержащих сточных вод трёхпродуктовым фильтрующим гидроциклоном / В.Ф. Бабкин, Е.П. Евсеев, П.Д. Захаров, К.Ю. Голдобина // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 2(23). – С. 29-36.

2. Лаптев С.А. Исследование узла регенерации отработанного масла с агрегатом для комбинирования различных стадий и методов очистки // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2022 (МНТК "ИМТОМ – 2022"): Материалы XI-й Международной научно-технической конференции, Казань, 08 декабря 2022 года. Том Часть 2. – Казань: Акционерное общество "Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий", 2022. – С. 196-198.

3. Патент № 2802921 С1 Российская Федерация, МПК В04С 5/12. Трёхпродуктовый гидроциклон: № 2022135329: заявл. 30.12.2022: опубл. 05.09.2023 / В.Я. Потапов, А.И. Афанасьев, А.В. Долганов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уральский государственный горный университет".

4. Патент на полезную модель № 221348 U1 Российская Федерация, МПК В01D 17/038. Гидроциклонный аппарат: № 2023119648: заявл. 26.07.2023: опубл. 01.11.2023 / Е.А. Пивцов; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Славнефть-Красноярскнефтегаз».

5. Использование гидроциклонных насосных установок для интенсификации технологических процессов очистки сточных вод / А.А. Абиров, М.Т. Усербаев, М.У. Байдельдинов [и др.] // Точная наука. – 2021. – № 106. – С. 4-9.

6. Патент № 2730062 С1 Российская Федерация, МПК E21B 43/38. Гидроциклонное устройство очистки жидкости : № 2020113338 : заявл. 02.04.2020 : опубл. 17.08.2020 / А.В. Репко, А. А. Безумов, Б.А. Сентяков ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "БР Инжиниринг".

7. Вершинин В.Е. Численное моделирование процессов разделения нефти и газа в гидроциклоне цилиндрического типа / В.Е. Вершинин, Д.В. Трапезников // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18, № 4. – С. 118-124. – DOI 10.17122/ngdelo-2020-4-118-124.

8. Клейдман О.В., Клейдман М.Д. Анализ свободных и вынужденных колебаний сосудов и баллонов высокого давления из композитных материалов на основе МКЭ. Подогреватель высокого давления и ресивер водорода // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2022 (МНТК "ИМТОМ - 2022") : Материалы XI-й Международной научно-технической конференции, Казань, 08 декабря 2022 года. Том Часть 2. – Казань: Акционерное общество "Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий", 2022. – С. 189-191.

УДК 629.7.035

## **РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЯГИ ЭЛЕКТРОВЕНТИЛЯТОРОВ ДЛЯ МАЛОЙ АВИАЦИИ**

Рафиков Мурат Булатович<sup>1</sup>, Калинин Илья Александрович, Теткин Игорь Юрьевич,

Марченко Юрий Глебович, Седунин Вячеслав Алексеевич

Науч. рук. преп. Калинин Илья Александрович

ФГАОУ ВО «УрФУ», г. Екатеринбург, Свердловская область

<sup>1</sup>murat.rafikov01@mail.ru

В работе описывается подход измерения параметров потока электровентилятора, для оценки эффективности его работы. Разработанный для этой цели стенд позволил осуществить замер аэродинамической тяги вентилятора.

**Ключевые слова:** малая авиация, вентилятор, осевая ступень, стенд для измерения тяги, тяга электровентилятора.

# DEVELOPMENT OF A STAND FOR MEASURING THE THRUST OF OF ELECTRIC FANS FOR SMALL AIRCRAFT

Rafikov Murat B.<sup>1</sup>, Kalinin Ilya A., Tetkin Igor Y., Marchenko Yuri G.,  
Sedunin Vyacheslav A.

Scientific advisor Kalinin Ilya A.

UrFU, Yekaterinburg, Sverdlovsk region

<sup>1</sup>murat.rafikov01@mail.ru

The paper describes an approach to measuring the flow parameters of an electric fan to assess the effectiveness of its operation. The stand developed for this purpose made it possible to measure the aerodynamic thrust of the fan.

**Keywords:** small aircraft, fan, axial stage, thrust measuring stand, electric fan thrust.

Из-за активного развития малой авиации и глобальной электрификации требуется создание высокоэффективных вентиляторов. Для этой цели нужно проводить большое количество экспериментов различных конфигураций проточных частей. Поэтому был создан универсальный стенд, с возможностью быстрой замены рабочего колеса и направляющего аппарата, для верификации расчётов и оценки тяги электровентиляторов.

## Описание конструкции

Условно стенд можно разделить на следующие части:

- рама стенда (рис. 1а);
- вентилятор (рис. 1б);
- контрольно – измерительная часть;

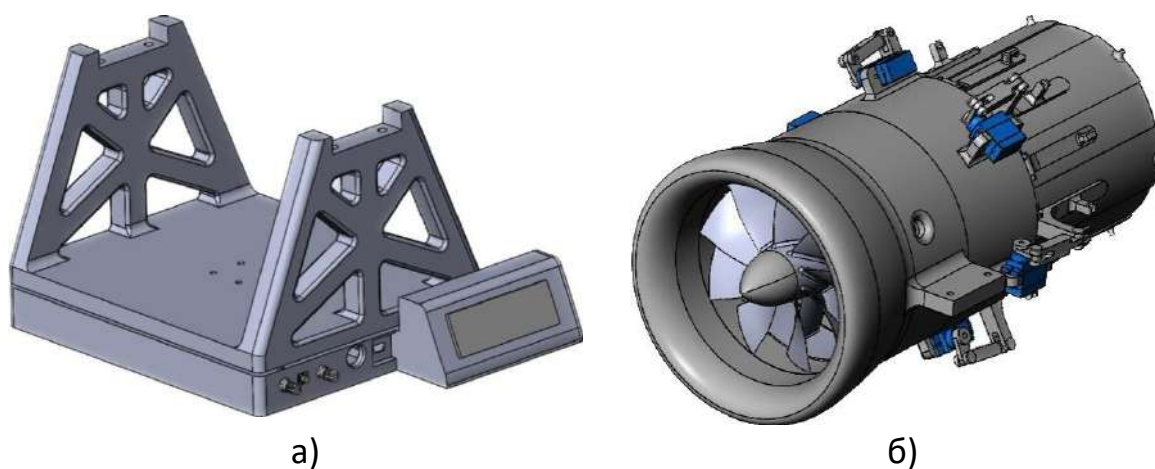


Рис. 1. Стенд: (а) – рама стенда, (б) – вентилятор

В узле вентилятора находятся вентиляторная ступень, состоящая из рабочего колеса и направляющего аппарата, электромотора и регулируемого сопла [1]. Электромотор приводит во вращение рабочее колесо. Направляющий аппарат спрямляет поток, что увеличивает тягу. Данный узел спроектирован так, что позволяет быстро и без существенного разбора конструкции, менять проточные части с различной конфигурацией [2]. Помимо этого, есть возможность замены электромотора на другие с различными характеристиками.

На данном стенде установлен мотор 700 Вт, с максимальной частотой вращения 13000 об/мин. Регулируемое сопло работает как дроссель – позволяет изменять сопротивление в проточной части, что необходимо для получения расходно – напорной характеристики ступени [3]. Сопло позволяет изменять выходное сечение от 0,6 до 1,2 относительно площади всей проточной части.

Рама стенда является несущей конструкцией вентилятора и контрольно – измерительного узла. Из-за особенности конструкции, рама позволяет использовать вентиляторы от 50 мм до 200 мм на периферии, при этом есть возможность простого масштабирования рамы для установки больших вентиляторов. Также в раму встроена блока замера статической тяги с помощью тензодатчика.

Система управления стенда состоит из микроконтроллера Arduino NANO, датчиков замера полного и статического давления, сервомашинки, тензодатчика, экрана. Значения давлений измеряются с помощью датчиков Honeywell [4]. Для измерения полного давления приемник ставится в ядро потока, для измерения статического давления приемник следует расположить вблизи стенки сопла. Частота вращения мотора фиксируется щелевым оптическим датчиком, расположенном в обтекателе электромотора. С помощью лабораторного блока питания, который используется для питания бесколлекторного электромотора, определяется вольт-амперная характеристика. Тензодатчик для замера статической тяги – мостовой, рассчитан на 5 кг. Все показания с датчиков обрабатываются и после выводятся на экран и на COM порт.

Помимо этого, в стенде реализовано поддержание заданных оборотов с помощью ПИ – регулятора, реализованного с помощью микроконтроллера. Общий вид собранного стенда представлен на рис. 2.

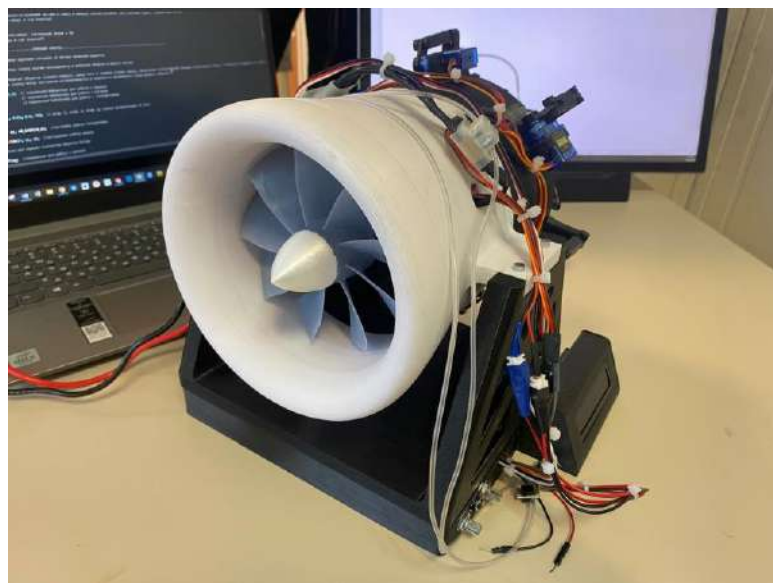


Рис. 2. Общий вид стенда

Разработанный стенд позволит экспериментальным путем определить аэродинамические характеристики и тягу вентиляторов с периферийным диаметром от 50 до 200 мм и с тягой до 5 кг. Разработка позволит создавать высокоэффективные электровентиляторы для малой авиации в краткие сроки.

### Источники

1. Ревзин Б. С. Осевые компрессоры газотурбинных газоперекачивающих агрегатов // М-во образования Рос. Федерации, ГОУ ВПО "Ур. гос. техн. ун-т - УПИ". – 2-е изд., стер. – Екатеринбург: УГТУ, 2003. – С. 89.
2. Sedunin, Viacheslav & Marchenko, Yuriy & Kalinin, Ilya. (2023). Prototyping centrifugal microcompressors using additive technology. AIP Conference Proceedings. 040002. 10.1063/5.0151670.
3. Ржавин Ю.А. Осевые и центробежные компрессоры двигателей летательных аппаратов: Теория, конструкция и расчет: Учеб. для вузов по направл. "Авиа-и ракетостроение" / Под ред. В.И. Локая . – М. : Изд-во МАИ, 1995 . – 344 с.
4. SPI Communication with Honeywell Digital Output Pressure Sensors // Honeywell URL: <https://www.honeywell.com/us/en> (дата обращения: 24.01.2024).

## **БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ДЛЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

Рыбаков Иван Денисович

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

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

vany.rybakov2003@gmail.com

Данная статья исследует применение концепции бережливого производства в энергетической отрасли с целью оптимизации операций и повышения эффективности энергосистем. Введение обсуждает вызовы, стоящие перед современными энергосистемами, такие как изменение климата, ограниченные ресурсы и растущие потребности потребителей, и предлагает бережливое производство как инструмент для решения этих проблем. Статья рассматривает основные принципы бережливого производства, такие как упрощение процессов, оптимизация ресурсов, устранение потерь, гибкость и непрерывное совершенствование, и описывает их применимость в энергетической отрасли.

**Ключевые слова:** Энергосистемы, бережливое производство, эффективность, устойчивость, ресурсы.

## **LEAN PRODUCTION FOR ENERGY SYSTEMS**

Rybakov Ivan D.

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vany.rybakov2003@gmail.com

This article explores the application of lean manufacturing concepts to the energy industry to optimize operations and improve energy system efficiency. The introduction discusses the challenges facing modern energy systems, such as climate change, limited resources and growing consumer demands, and proposes lean manufacturing as a tool to address these challenges. The article examines the core principles of lean manufacturing, such as process simplification, resource optimization, waste elimination, flexibility and continuous improvement, and describes their applicability to the energy industry.

**Keywords:** Energy systems, lean production, efficiency, sustainability, resource.

Современные энергосистемы сталкиваются с рядом вызовов, таких как изменение климата, ограниченные ресурсы и растущие потребности

потребителей [2]. В этом контексте важно рассмотреть применение концепции бережливого производства, которая может стать мощным инструментом для оптимизации операций и повышения эффективности энергосистем. Данная статья исследует ключевые принципы бережливого производства и их применимость в энергетике, особенно в управлении ресурсами, устранении потерь, а также гибкости и адаптивности энергосистем [4].

Бережливое производство базируется на нескольких ключевых принципах, которые включают в себя упрощение процессов, оптимизацию использования ресурсов, устранение потерь, гибкость и непрерывное совершенствование [1]. В энергетике эти принципы могут быть адаптированы для достижения максимальной эффективности в производстве, передаче и распределении энергии.

Оптимизация использования ресурсов является ключевым аспектом бережливого производства. В энергетике это включает в себя эффективное управление процессами производства, транспортировки и распределения энергии. Применение передовых технологий для мониторинга и управления сетями позволяет снизить потери энергии и оптимизировать использование ресурсов, что способствует повышению эффективности энергосистем [2].

Бережливое производство также подразумевает создание гибких и адаптивных систем, способных быстро реагировать на изменяющиеся условия рынка и потребности потребителей. В энергетике это означает разработку механизмов, позволяющих быстро переключаться между различными источниками энергии в зависимости от спроса и наличия ресурсов. Это способствует повышению устойчивости энергосистем и обеспечению непрерывного доступа к энергии [5].

Применение принципов бережливого производства в энергетике может значительно улучшить эффективность и устойчивость энергосистем. Оптимизация управления ресурсами, устранение потерь, а также гибкость и адаптивность становятся важными факторами для достижения энергетической устойчивости в условиях современной динамичной среды. Внедрение принципов бережливого производства требует системного подхода и сотрудничества между всеми участниками энергетической отрасли, но потенциальные выгоды в виде повышения эффективности и снижения затрат вполне оправдывают эти усилия [3].

## Источники

1. Дятлова, Д. В. Бережливое производство для энергосистем и промышленных производств / Д. В. Дятлова, Д. С. Савельева, И. Н. Маслов // Научно-производственный бизнес: устойчивое развитие экономики и ESG-трансформация: Материалы IV инновационно-образовательного Кампуса - 2022, Казань, 14–15 апреля 2022 года / Под редакцией И.И. Антоновой. – Казань: Издательство "Познание", 2022. – С. 67-70.

2. "Зеленая экономика" в агропромышленном комплексе: вызовы и перспективы развития: Материалы всероссийской научной конференции, Краснодар, 18 октября 2018 года. – Краснодар: ФГБУ "Российское энергетическое агентство" Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ-филиал ФГБУ "РЭА" Минэнерго России, 2018. – 478 с. – ISBN 978-5-91221-370-0.

3. Глухов, В.В. Организация производства. Бережливое производство: учебное пособие / В.В. Глухов, Е.С. Балашова; В.В. Глухов, Е.С. Балашова; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский гос. политехнический ун-т. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехнического ун-та, 2007. – ISBN 5-7422-1449-9.

4. Развитие энергетики в мире и в России / Р.А. Амерханов, О.В. Григораш, Е.В. Воробьев [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2020. – № 2(124). – С. 22-28.

5. Осипов Б.М., Титов А.В. Автоматизированная система газодинамических расчётов энергетических турбомашин: Учеб. Пособие / Осипов Б.М., Титов А. В. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2012 – 277с.

УДК 65.011

## МОНИТОРИНГ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЖИЛЫХ РАЙОНОВ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Рыбаков Иван Денисович

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

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

vany.rybakov2003@gmail.com

Внедрение систем мониторинга энергоресурсов в жилых районах является важным шагом для повышения энергоэффективности и улучшения управления потреблением энергии. Эти системы позволяют непрерывно отслеживать и



анализировать расход энергии в реальном времени, выявлять узкие места в системах и принимать меры для их оптимизации. Преимущества включают возможность рационального использования ресурсов и сокращение издержек для потребителей и поставщиков, а также снижение негативного воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** энергетические ресурсы, мониторинг, энергоэффективность, потребление энергии, инновации, системы учета энергоресурсов.

## INVESTIGATION OF THE CAUSES OF GAS TURBINE ENGINE FAILURES AND THEIR COMPONENTS

Rybakov Ivan D.

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vany.rybakov2003@gmail.com

Implementing energy resource systems in residential areas is a must to improve energy efficiency and improve energy management. These systems make it possible to control and analyze energy consumption at first, identify bottlenecks in comfortable conditions and take measures to optimize them. Benefits include the ability to use resources sustainably and reduce energy and power supply costs, as well as reducing negative environmental impacts.

**Keywords:** energy resources, monitoring, energy efficiency, energy consumption, innovation, energy accounting systems.

Энергетические ресурсы играют жизненно важную роль в обеспечении комфорта и безопасности жителей крупных городов. Однако рост населения и увеличение городских территорий приводят к увеличению энергопотребления и нагрузки на энергетическую инфраструктуру. Недостаточное планирование и контроль потребления энергии могут привести к неэффективному использованию ресурсов, перегрузкам в сетях и экологическим проблемам [1].

Внедрение систем мониторинга энергоресурсов в жилых районах представляет собой важный шаг к повышению энергоэффективности и улучшению управления энергопотреблением [5]. Такие системы позволяют непрерывно отслеживать и анализировать расход энергии в реальном времени, выявлять узкие места в системах и принимать меры для их оптимизации.

Одним из главных преимуществ мониторинга энергоресурсов является возможность рационального использования энергии и снижения издержек как для потребителей, так и для поставщиков. Кроме того, это

способствует сокращению негативного воздействия на окружающую среду [6].

Однако, для успешной реализации таких систем необходимо преодолеть несколько вызовов. Среди них – это обеспечение доступности и точности данных, развитие подходящей инфраструктуры и обучение персонала для работы с мониторинговыми системами [4].

С развитием технологий интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ) мониторинг энергетических ресурсов становится более эффективным и доступным. Использование автоматизированных систем анализа данных и управления позволяет улучшить точность и оперативность реагирования на изменения в потреблении энергии.

Мониторинг энергетических ресурсов в жилых районах крупных городов России обычно осуществляется с помощью комплекса технологий и методов, направленных на сбор, анализ и управление данными о потреблении энергии [2]. Основные шаги и процессы, которые обычно включаются в этот процесс:

**Установка счетчиков и датчиков:** В каждой жилой единице и на различных уровнях инфраструктуры устанавливаются счетчики энергии (электроэнергии, газа, тепла и т. д.) и датчики для измерения параметров, таких как температура, влажность и т.д.

**Сбор данных:** Данные о потреблении энергии и других параметрах считываются с установленных счетчиков и датчиков. Эти данные могут передаваться в центральную систему мониторинга по проводным или беспроводным сетям связи.

**Агрегация и анализ данных:** Полученные данные агрегируются и анализируются с использованием специализированных программных средств. Анализ данных может включать выявление паттернов потребления, идентификацию потенциальных утечек энергии или других проблем, а также прогнозирование будущего потребления.

**Управление и оптимизация:** На основе данных и аналитики принимаются решения по оптимизации потребления энергии. Это может включать в себя управление системами отопления, кондиционирования воздуха, освещения и другими устройствами для снижения энергопотребления в пиковые периоды или при низкой нагрузке.

**Мониторинг и отчетность:** Процесс мониторинга непрерывен, и данные регулярно отслеживаются и анализируются для выявления изменений и эффективности принимаемых мер. Также создаются отчеты для представления результатов мониторинга за определенные периоды.

Мониторинг энергетических ресурсов в жилых районах крупных городов России является необходимым инструментом для обеспечения устойчивого развития городской инфраструктуры. Эффективное использование энергии способствует экономии ресурсов, снижению нагрузки на сети и снижению негативного воздействия на окружающую среду, что в конечном итоге способствует повышению качества жизни городских жителей [3].

### Источники

1. Руководство по системной технике для автоматизации зданий и домов. Основы / Центральный Союз немецких электротехников и IT-технологов (ZVEN). – 5-е издание. – 2006. – 193 с.

2. Колбасюк, К. Ю. Методологический подход совершенствования системы мониторинга и управления энергетическими ресурсами при функционировании интеллектуальных зданий и сооружений / К. Ю. Колбасюк, Д. Ю. Усов, Р. Н. Сафиуллин // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях: Труды IV Межвузовской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06 февраля 2019 года. Том 2. – Санкт-Петербург: Федеральное Государственное Казенное Военное Образовательное учреждение высшего образования "Военная академия связи имени маршала советского союза С. М. Буденного" Министерства Обороны Российской Федерации, 2019. – С. 182-186.

3. Глухов, А. Т. Презентация учебного пособия "транспортная планировка, Землеустройство и экологический мониторинг городов" / А. Т. Глухов // Сборник трудов седьмого международного экологического конгресса (девятой международной научно-технической конференции) "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ELPIT 2019": Сборник трудов седьмого международного экологического конгресса (девятой международной научно-технической конференции), Самара, Тольятти, 25–28 сентября 2019 года. Том 3. – Самара, Тольятти: Автономная некоммерческая организация «Издательство Самарского Научного Центра», 2019. – С. 33-38.

4. Развитие энергетики в мире и в России / Р. А. Амерханов, О. В. Григораш, Е. В. Воробьев [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2020. – № 2(124). – С. 22-28.

5. Осипов Б.М., Титов А.В. Автоматизированная система газодинамических расчётов энергетических турбомашин: Учеб. Пособие / Осипов Б.М., Титов А. В. – Казань: Казан. гос. энерг. Ун-т, 2012 – 277с.

6. Ахметшин, А. Р. Анализ фактических электрических нагрузок жилых зданий Москвы, полученных от интеллектуальных приборов учета электроэнергии / А. Р. Ахметшин // Информационные технологии в

электротехнике и электроэнергетике: материалы XIII всероссийской научно-технической конференции, Чебоксары, 03 июня 2022 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2022. – С. 292-293.

УДК 661.96

## **ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ**

Сабиров Расим Ирекович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

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

rasimsabb@gmail.com

В современном мире переход к устойчивым источникам энергии становится все более важным в контексте борьбы с изменением климата и сокращения зависимости от ископаемых ресурсов. В этой статье водородная энергетика выделяется как один из перспективных направлений, способных стать ключевым фактором развития экономики.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, экономика, водород, солнечная энергия, ветровая энергия, возобновляемая энергетика.

## **HYDROGEN ENERGY AS A FACTOR OF ECONOMIC DEVELOPMENT**

Sabirov Rasim I.

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rasimsabb@gmail.com

In the modern world, the transition to sustainable energy sources is becoming increasingly important in the context of combating climate change and reducing dependence on fossil resources. In this article, hydrogen energy is highlighted as one of the promising areas that can become a key factor in economic development.

**Keywords:** hydrogen energy, economics, hydrogen, solar energy, wind energy, renewable energy.

Водородная энергетика является одним из наиболее перспективных направлений развития современной мировой экономики. Она представляет собой использование водорода в качестве источника энергии для производства тепла и электричества. Водород является экологически чистым и возобновляемым источником энергии, поскольку он может быть получен из воды с использованием возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия [1-3].

Водородная энергетика имеет ряд преимуществ перед традиционными источниками энергии, такими как уголь, нефть и природный газ. Во-первых, водород является более эффективным и экологически чистым топливом, поскольку при его сгорании образуется только вода. Во-вторых, водород можно использовать для производства электроэнергии с помощью топливных элементов, которые обладают высоким КПД и не производят вредных выбросов.

Однако развитие водородной энергетике сталкивается с рядом проблем, включая высокую стоимость производства и хранения водорода, а также недостаточную инфраструктуру для его транспортировки и использования. Кроме того, некоторые страны, такие как США, уже инвестируют значительные средства в развитие возобновляемых источников энергии, таких как солнечные батареи и ветрогенераторы, которые могут составить конкуренцию водородной энергетике [4-6].

Тем не менее, водородная энергетика имеет огромный потенциал для развития мировой экономики и улучшения экологической ситуации.

Она может стать ключевым фактором в переходе к более устойчивым и экологически чистым источникам энергии, а также способствовать снижению зависимости от традиционных источников энергии. В связи с этим, необходимо продолжать исследования и разработки в области водородной энергетике, чтобы сделать ее более доступной и эффективной для использования в промышленности и в быту [3-5].

Водородная энергетика представляет собой перспективное направление развития как с точки зрения экологии, так и экономики. Ее внедрение может способствовать устойчивому развитию, снижению выбросов парниковых газов и созданию новых возможностей для экономического роста. Поэтому инвестиции в развитие водородной энергетике могут стать ключевым фактором для будущего устойчивого развития.

## **Источники**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Титов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал

Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035.

2. 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.

3. Марьин, Г.Е. Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марьин Георгий Евгеньевич, 2023. 247 с.

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.

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.

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.

УДК 621.438

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТУРБИН SIEMENS SGT-800 И ГТЭ-65**

Сабилов Расим Ирекович<sup>1</sup>, Залялов Айрат Амирович<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>rasimsabb@gmail.com, <sup>2</sup>zalyalovart@mail.ru

В статье представлен сравнительный анализ турбин Siemens SGT-800 и ГТЭ-65. Представленные турбины являются конкурентами в своих мощностных классах. В этой статье мы определим какая турбина окажется самой лучшей.

**Ключевые слова:** турбина, газовая турбина, Siemens SGT-800, ГТЭ-65, мощность, КПД, сравнение.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF SIEMENS SGT-800 AND GTE-65 TURBINES

Sabirov Rasim I.<sup>1</sup>, Zalyalov Airat A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>rasimsabb@gmail.com, <sup>2</sup>zalyalovart@mail.ru

The article presents a comparative analysis of Siemens SGT-800 and GTE-65 turbines. The presented turbines are competitors in their power classes. In this article, we will determine which turbine will be the best.

**Keywords:** turbine, gas turbine, Siemens SGT-800, GTE-65, power, efficiency, comparison.

Турбина Siemens SGT-800 – это газотурбинный двигатель, который используется для генерации электроэнергии. Он был разработан компанией Siemens и имеет мощность 45-62 МВт. Турбина работает на природном газе и имеет температуру газа на входе до 1470 градусов Цельсия. Эффективность турбины составляет около 38,5%, а частота вращения – 6600 оборотов в минуту. Турбина оснащена системой сгорания с предварительным смешиванием газов, что обеспечивает эффективное сжигание топлива и высокую производительность. Она соответствует строгим экологическим стандартам по выбросам вредных веществ и имеет компактные размеры с низким уровнем шума [1-3].

ГТЭ-65 – это газовая турбина, предназначенная для использования в энергетических установках. Ее мощность составляет 65 МВт, а температура газа на входе может достигать 1500 °С. Турбина имеет эффективность около 35% и может работать на различном топливе, включая природный газ и попутный нефтяной газ. ГТЭ-65 оснащена системой сгорания, которая обеспечивает эффективное и безопасное сжигание топлива, а также соответствует экологическим стандартам [4-6].

Siemens SGT-800 и ГТЭ-65. Эти турбины имеют разные характеристики и используются в различных отраслях промышленности. Siemens SGT-800 имеет мощность 45-62 МВт, в то время как ГТЭ-65 65 МВт. Также они отличаются по температуре газа на входе и эффективности. Однако обе турбины соответствуют экологическим стандартам и имеют систему сгорания с предварительным смешиванием газов.

Siemens SGT-800 используется в основном в энергетике для генерации электроэнергии, в то время как ГТЭ-65 используется в промышленных установках. Они обе работают на природном газе, но имеют разные параметры. SGT-800 имеет более высокую мощность и эффективность, в то время как ГТЭ-65 меньше по размеру и имеет более низкую стоимость. Обе турбины соответствуют экологическим стандартам и имеют системы сгорания, обеспечивающие эффективное сжигание топлива.

Турбина Siemens SGT-800 используется в настоящее время и установлена на многих электростанциях по всему миру. Она является одной из самых мощных и эффективных турбин в мире и используется для генерации электроэнергии из природного газа.

ГТЭ-65 также используется в настоящее время, и эти турбины установлены на многих электростанциях России и других стран. Они используются для генерации электроэнергии из природного газа и других видов топлива [4-6].

### **Источники**

1. 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.

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.

3. 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.

4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846.



5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

6. 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.

УДК 662.769.2

## **СЛОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Салахутдинова Эвелина Ильнуровна<sup>1</sup>, Клейн Евгений Васильевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>evelinka3520@mail.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

Важным направлением развития возобновляемой энергетики является водородная энергетика, в рамках которой рассматриваются проблемы, связанные с использованием водорода в качестве энергоносителя и аккумулирующей среды.

**Ключевые слова:** водород, энергия, возобновляемая энергетика, энергоноситель.

## **DIFFICULTIES AND PROSPECTS OF USING HYDROGEN IN THE ENERGY SECTOR**

Salakhutdinova Evelina I.<sup>1</sup>, Klein Evgeny V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>evelinka3520@mail.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

An important area of development of renewable energy is hydrogen energy, which addresses the problems associated with the use of hydrogen as an energy carrier and storage medium.

**Keywords:** hydrogen, energy, renewable energy, energy carrier.

Водород играет ключевую роль в создании устойчивых, межсезонных резервов энергии в энергетических системах, основанных на возобновляемых источниках, включая комбинированные системы. Ограниченность ископаемых органических видов топлива и возрастающие глобальные экологические вызовы вызывают значительный интерес научного сообщества к использованию возобновляемых источников энергии. К настоящему моменту сложилось мнение, что благодаря неограниченным ресурсам, высокой энергонасыщенности, технологической гибкости и экологической чистоте процессов преобразования энергии, водород следует рассматривать как наиболее перспективный энергоноситель будущего.

Водород обладает свойствами, которые делают его перспективным для широкого применения в разных отраслях промышленности, но также создают ряд технических трудностей в процессе его использования [1]. Водород применяется для аккумулирования, сохранения и транспортировки энергии и сегодня рассматривается как многообещающий источник энергии для формирования низкоуглеродистой и безуглеродной экономики, минимизирующей антропогенное воздействие на климат.

Основными преимуществами водорода являются отсутствие вредных выбросов при использовании его в качестве источника энергии, так как при сгорании водородного топлива образуется только вода, которая затем может быть использована вновь в производственном цикле водорода. Кроме того, водород можно получать из различных источников, таких как вода, углеводороды и органические материалы [2].

Транспортировка водорода может осуществляться в газообразном, жидком или твердом (связанном) состоянии, однако перевозка газообразного водорода связана с высокими затратами из-за его низкой плотности. В связи с этим в мире активно разрабатываются технологии, направленные на повышение экономической эффективности и безопасности транспортировки водорода.

Основными препятствиями для развития водородной энергетики в настоящее время являются трудности в области материаловедения и необходимость усовершенствования методов транспортировки, сохранения и использования водорода. В контексте российской территории перспективными методами транспортировки водорода считаются его транспортировка по трубопроводам, автомобильным, морским и железнодорожным транспортом в сжатом, сжиженном и связанном виде, в том числе и в форме аммиака [3].

Препятствием для широкого внедрения водородной энергетики служит необходимость строительства хранилищ углерода, поскольку при выработке водорода требуется соблюдать стандарты выбросов углекислого газа. Это объясняет высокую стоимость водорода в сравнении с традиционными источниками энергии. Поэтому необходимо развивать технологии для уменьшения себестоимости получения, транспортировки, хранения и потребления водорода [4].

Концепция развития водородной энергетики в РФ, принятая 5 августа 2021 года, подразумевает производство водорода с помощью энергии, вырабатываемой гидроэлектростанциями, атомными и тепловыми электростанциями, посредством электролиза воды и пиролиза углеводородов [5]. Российский энергетический сектор имеет значительный потенциал и серьезные преимущества для занятия существенной доли мирового рынка водорода.

Таким образом, развитие водородной энергетики ставит перед исследователями целый ряд материаловедческих задач, решение которых будет способствовать становлению технологий данной области, включая получение, очистку, хранение водорода и его преобразование в энергию. На этом пути имеются значимые научно-технические достижения, но еще осталось много проблем. Водородная энергетика сегодня выступает в качестве одного из ключевых и перспективных векторов науки и технологии и способна стать основой для перевода экономики России на новый уровень с точки зрения энергоэффективности, производительности и экологической безопасности.

### **Источники**

1. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В. Водород для производства энергии: проблемы и перспективы // АЭЭ. 2006. №8.

2. Марьин, Г. Е. Водородные технологии на ТЭС: проблемные вопросы и подходы к их решению / Г. Е. Марьин // Технологическое развитие отраслей ТЭК для достижения углеродной нейтральности экономики России: сборник докладов Школы молодых ученых, Москва, 17–18 октября 2023 года. – Москва: Институт энергетических исследований РАН, 2023. – С. 116-120.

3. Ишалин, А. В. Транспортирование водородных смесей с помощью газотурбинных технологий / А. В. Ишалин, Г. Е. Марьин // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов: в 3 т., Казань, 06–07 декабря 2022 года. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 178-181.

4. Водородная энергетика: новый уровень | Наука и инновации Санкт-Петербургский университет Петра Великого [Электронный ресурс]. [https://research.spbstu.ru/news/vodorodnaya\\_energetika\\_novyy\\_uroven\\_1/](https://research.spbstu.ru/news/vodorodnaya_energetika_novyy_uroven_1/) (дата обращения: 28.03.2024).

5. М.Мишустин. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации [Электронный ресурс]. <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf> (дата обращения: 28.03.2024).

УДК 621.438

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗА В РАЗЛИЧНЫХ СЕЧЕНИЯХ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Самигулин Данила Сергеевич<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>samigulindan@yandex.ru

В данной статье будет рассмотрено исследование статистических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя, поскольку проведение такого исследования позволяет нам получить более полное представление о его работе и оптимизировать его эффективность.

**Ключевые слова:** температура, статистические параметры, безопасные двигатели, системы охлаждения, сечения проточной части.

## INVESTIGATION OF THE STATISTICAL PARAMETERS OF THE GAS IN VARIOUS SECTIONS OF THE FLOW PART OF THE ENGINE

Samigulin Danila S.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>samigulindan@yandex.ru

In this article, we will consider the study of the statistical parameters of the gas in various sections of the flow part of the engine, since conducting such a study allows us to get a more complete picture of its operation and optimize its efficiency.

**Keywords:** temperature, statistical parameters, safe engines, cooling systems, flow section.

Параметры газа в различных сечениях проточной части являются ключевыми для оптимальной работы двигателя [1-3]. Рассмотрим основные параметры, оказывающие влияние на работу двигателя в различных сечениях. Давление газа является важным параметром в проточной части двигателя. Во всех сечениях двигателя давление газа должно быть оптимальным для обеспечения правильного сжигания топлива и обеспечения необходимой мощности. Температура газа также играет важную роль в проточной части двигателя. Оптимальная температура газа обеспечивает эффективное сгорание топлива, что ведет к повышению мощности и снижению выбросов вредных веществ. Скорость газа еще один важный параметр в проточной части двигателя. Оптимальная скорость газа обеспечивает хороший обмен массой и теплом, что повышает эффективность работы двигателя. При проектировании проточной части учитывается не только общая скорость газа, но и ее распределение по сечению для предотвращения образования областей с потерями энергии.

Плотность газа влияет на работу двигателя, так как она определяет массовый расход топлива и эффективность сгорания [4-6]. Плотность газа в различных сечениях проточной части может изменяться из-за изменения давления, температуры и содержания кислорода в воздухе. Состав газа также имеет значение при определении параметров в проточной части двигателя. Смесь топлива и воздуха должна быть оптимальной для обеспечения правильного сгорания без образования нежелательных отложений и выбросов [1]. Понимание и контроль этих параметров позволяют повысить производительность двигателя, снизить выбросы и повысить его надежность. Проектирование и регулирование параметров газа в проточной части является важным аспектом при создании современных двигателей. Исследование статистических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя является важным этапом разработки и оптимизации двигателей внутреннего сгорания. Газы, проходящие через проточную часть двигателя, подвержены различным физическим процессам, таким как сжатие, нагрев, сгорание и экспансия. Понимание статистических параметров газа в различных сечениях двигателя позволяет оптимизировать его работу, повысить эффективность и уменьшить выбросы вредных веществ в окружающую среду [4-6]. Одним из основных параметров газа, который следует изучать, является давление. Давление газа в различных сечениях двигателя может существенно влиять на его работу. Исследование статистических распределений давления позволяет определить зоны повышенного или пониженного давления, что

может помочь в выявлении неэффективных участков работы двигателя. Также статистические данные о давлении газа могут быть использованы для коррекции параметров управления двигателя и оптимизации его работы. Еще одним важным параметром, который необходимо изучать, является температура газа. Температура газа в различных сечениях двигателя может сказываться на его эффективности и долговечности [1-3]. Исследование статистических параметров температуры позволяет определить зоны перегрева или недогрева газа, что может привести к повреждению двигателя. Анализ статистических данных о температуре газа позволяет оптимизировать системы охлаждения и контроля теплового режима двигателя. Скорость газа влияет на процессы смешивания топлива и воздуха, а также на силу, передаваемую на рабочий орган двигателя. Изучение статистических параметров скорости газа помогает оптимизировать форму камеры сгорания и выбрать оптимальный режим работы двигателя [2]. Таким образом, исследование статистических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя играет важную роль в его оптимизации и улучшении производительности. Полученные данные обеспечивают информацию о работе двигателя, что позволяет инженерам и конструкторам разрабатывать более эффективные и экологически безопасные двигатели внутреннего сгорания.

### **Источники**

1. 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.
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.
3. Ишалин А.В., Файзуллина Г.И., Марьин Г.Е. Перспективные направления получения водорода // Тинчуринские чтения - 2021 "Энергетика и цифровая трансформация", 2021. С. 182-185.
4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846.

5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

6. 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.

УДК 621.31

## ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА

Самигулин Данила Сергеевич<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>samigulindan@yandex.ru

Уголь – древний и по-прежнему востребованный вид топлива, используемый в различных отраслях экономики. В этой статье мы рассмотрим возможность использования угля в качестве топлива. Поговорим об имеющихся недостатках, а также изучим вопрос перспектив использования угля в качестве топлива.

**Ключевые слова:** промышленность, уголь, топливо, природный ресурс, выбросы.

## THE PROSPECT OF USING COAL AS A FUEL

Samigulin Danila S.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>samigulindan@yandex.ru

Coal is an ancient and still in demand type of fuel used in various sectors of the economy. In this article, we will consider the possibility of using coal as a fuel. Let's talk about the existing disadvantages, as well as explore the prospects of using coal as a fuel.

**Keywords:** industry, coal, fuel, natural resource, emissions.

Уголь – одно из старейших и наиболее распространенных природных ископаемых, которое человек начал использовать еще в глубокой древности в качестве топлива. С течением времени уголь стал одним из ключевых энергетических ресурсов, на котором основывается развитие промышленности и обеспечение энергетических потребностей человечества. Одно из главных преимуществ использования угля в качестве топлива заключается в его обилии и доступности [1-3]. Подземные запасы угля являются важным фактором для государств, которые полагаются на этот вид энергии для обеспечения своих потребностей. Это позволяет им быть независимыми от импорта энергии из других стран и поддерживать стабильность внутреннего рынка. Более того, использование угля позволяет создавать новые рабочие места и способствует экономическому росту, особенно в регионах с развитыми угольными промышленными комплексами. Однако, использование угля как природного топлива не лишено и некоторых недостатков.

Сгорание сопровождается выбросами вредных веществ, таких как диоксид углерода, сернистый и азотистый оксиды. Это влияет на экологию и климат, приводя к ухудшению качества воздуха и глобальным изменениям климата. Прогрессивные страны активно ищут способы снижения выбросов и придумывают технологии для улучшения процесса сгорания угля, чтобы минимизировать его вредное воздействие [4-6]. Кроме того, угольная промышленность может негативно сказываться на здоровье людей, живущих вблизи шахт и электростанций. Высокий уровень загрязнения и выбросы вредных веществ могут привести к заболеваниям органов дыхания и другим проблемам со здоровьем. Поэтому разработка и внедрение современных технологий, направленных на очистку угольных электростанций и шахт от вредных выбросов, является необходимостью.

Несмотря на эти сложности, уголь продолжает быть одним из главных источников энергии во всем мире. Топливная база, основанная на угле, обеспечивает работу множества отраслей промышленности и внутренних потребителей энергии. Впрочем, стремление к устойчивому развитию требует активного поиска альтернативных источников энергии и совершенствования технологий использования угля, чтобы снизить его негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

Использование угля в качестве источника энергии имеет свои перспективы и некоторые преимущества, которые делают его привлекательным выбором для многих стран.



Во-первых, уголь является изобильным и широко распространенным природным ресурсом. Его запасы горизонтали открывают перед экономикой возможности для обеспечения стабильного и недорогого топлива на длительный период времени. Более того, современные технологии добычи и повышения эффективности сгорания угля позволяют использовать этот ресурс с минимальным воздействием на окружающую среду. Во-вторых, уголь является относительно недорогим видом топлива. Стоимость его добычи и транспортировки, по сравнению с другими источниками энергии, остается на сравнительно низком уровне. Это делает уголь доступным для развивающихся стран, которые стремятся укрепить свое энергетическое обеспечение и поддерживать рост экономики. В-третьих, уголь может использоваться в качестве топлива для производства электроэнергии. Такие электростанции часто обладают высокой эффективностью и стабильной производительностью, что делает их важным источником электричества для многих стран. Более того, возможность модернизации и усовершенствования технологий сжигания угля позволяет снизить выбросы углекислого газа в атмосферу и смягчить негативное влияние на климатическую систему [1-3].

В целом, перспектива использования угля в качестве топлива остается актуальной и представляет собой компромисс между доступностью и эффективностью [4-6]. Технические и научные разработки помогают снизить экологическое воздействие и повысить эффективность использования угля, делая его более устойчивым и экономически выгодным решением для энергетических потребностей общества.

### **Источники**

1. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Эксергетическая эффективность угольных малых теплоэлектростанций как критерий перспективности их широкого использования // Химия твердого топлива. 2009. № 1. С. 64-69.

2. 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.

3. Мингалеева Г.Р., Гайнетдинов А.В., Шакиров Р.Р., Ахметов Э.А. Сравнительный анализ способов снижения вязкости водоугольных топлив // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 37-46.

4. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Исследование режимных параметров поточного газогенератора при газификации твердого топлива // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 216-223.

5. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Моделирование процесса образования продуктов термохимической переработки угля // Теплоэнергетика. 2010. № 9. С. 67-70.

6. Mingaleeva G., Nguen D.T., Pham D N. [et al.] The integration of hybrid mini thermal power plants into the energy complex of the republic of vietnam // Energies. 2020. Vol. 13, No. 21. P. 5848. DOI 10.3390/en13215848.

УДК 539.434

## ПОЛЗУЧЕСТЬ И ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН

Сарафанников Сергей Михайлович<sup>1</sup>, Клейдман Ольга Владимировна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Хакимуллина Лариса Шарифовна

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>sergey.sarafannikov99@mail.ru, <sup>2</sup>olgakdpm@mail.ru

В работе представлены результаты расчёта удлинений и напряжений лопатки турбины, работающей при высокой температуре длительное время, с учётом явления ползучести материала с целью совершенствования основных элементов турбоустановок и улучшения методов их расчета, влияющих существенно на эффективность процессов производства энергии.

**Ключевые слова:** лопатки турбин, напряжения, ползучесть, угловая скорость, длительная прочность, удлинение, высокая температура.

## CREEP AND LONG-TERM STRENGTH OF TURBOMACHINERY BLADES

Sarafannikov Sergey M.<sup>1</sup>, Kleidman Olga V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Khakimulina Larisa Sh.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>sergey.sarafannikov99@mail.ru, <sup>2</sup>olgakdpm@mail.ru

The paper presents the results of calculating the elongations and stresses of a turbine blade operating at high temperatures for a long time, taking into account the phenomenon of

material creep in order to improve the main elements of turbine units and improve methods for their calculation.

**Keywords:** turbine blades, stress, creep, angular velocity, long-term strength, elongation, high temperature.

В паровых турбинах небольшой мощности ползучесть обычно не играет значительной роли. Однако в крупных турбинах с высокими температурами и используемыми материалами (например, 13%-ные хромистые стали) напряжения становятся достаточно высокими, и необходимо учитывать ползучесть при расчете длительной прочности лопаток. Важно учитывать это явление и при проектировании и при эксплуатации таких турбин для обеспечения их надежной работы. Применение новых теплостойких суперсплавов, а также развитие методов моделирования и расчета [1,2,3,4] позволяют более точно предсказывать поведение лопаток в различных условиях эксплуатации.

Цель работы – определить удлинение рабочей лопатки газовой турбины постоянного профиля за время  $t = 100$  тыс.ч, работающей при постоянной температуре  $T = 750$  °С. Средний диаметр ступени  $d_c = 1,6$  м, длина лопатки  $l = 0,3$  м, угловая скорость  $\omega = 313$  рад/с, плотность материала лопатки  $\rho = 8600$  кг / м<sup>3</sup>.

Материал лопатки имеет закон деформирования:  $\varepsilon^c = A_1 \sigma^{n_1} t^\gamma$ ,

где  $A_1 = 1,48 \cdot 10^{-17} \cdot (\text{МПа})^{-n_1} / \text{ч}$ ;  $n_1 = 5,05$ ;  $\gamma = 0,33$ .

Удлинение лопатки при ползучести [5]:

$$\Delta l = \int_0^l \varepsilon^c dz = \int_0^l A \left( \frac{N}{F} \right)^n \Omega(t) dz. \quad (1)$$

Напряжение в корневом сечении [5]:

$$\sigma_0 = 0,5 \rho \omega^2 d_c l = 0,5 \cdot 8600 \cdot 314^2 \cdot 1,6 \cdot 0,3 = 203,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 203,5 \text{ МПа};$$

$$\mathcal{G} = d_c / l = 1,6 / 0,3 = 5,333, \text{ а функция:}$$

$$\chi(\mathcal{G}, n) = \frac{1}{n+1} \left( 1 + \frac{n/\mathcal{G}}{n+2} \right) = \frac{1}{5,05+1} \left( 1 + \frac{5,05/5,333}{5,05+2} \right) = 0,1875.$$

Тогда удлинение лопатки за срок её службы, учитывая (1),

$$\Delta l = 1,48 \cdot 10^{-17} \cdot 203,5^{5,05} \cdot 100\,000^{0,33} \cdot 0,3 \cdot 0,1875 = 1,69 \cdot 10^{-5} = 0,017 \text{ мм.}$$

Полученная величина мала по сравнению с радиальными зазорами 1 мм. Время до разрушения определяется напряжением в корневом сечении и характеристиками сплава. Расчет на ползучесть и длительную прочность лопаток турбин остается актуальным в современной индустрии энергетики и авиации. Аналитический метод обычно ограничивается простыми геометрическими формами и предположениями, что может привести к недостаточной точности расчетов. Численные методы, такие как метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных разностей (МКР) и метод граничных элементов (МГЭ), позволяют проводить более сложные и точные расчеты, учитывая сложные геометрии и неоднородности материалов [6,7,8]. Численные методы обычно предпочтительны для проведения расчетов прочности и ползучести лопаток турбин, в то время как аналитический метод, используемый в данной работе, может использоваться для проведения предварительных анализов и оценок.

### Источники

1. Лаптев, С.А. Анализ возможных структур вихревого газожидкостного потока в аппарате и получение обобщенных зависимостей // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 12-2. С. 132-139.
2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Титов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Альтернативная энергетика и экология: Междунар. науч. журнал. – 2023. – № 1(406). – С. 23-35.
3. Клейдман, М.Д., Клейдман О.В. Анализ влияния ползучести на напряжённно-деформированное состояние необогреваемогогиба стационарного трубопровода с помощью ANSYS // Энергетика и автоматизация в современном обществе: материалы VI Всеросс. научн. практ. конф. обуч.и преподав. Санкт-Петербург, 2023. С. 89-94.
4. Лаптев С.А. Характеристики вихревых контактных устройств с регулируруемыми геометрическими параметрами // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. 2019. Т. 10. С. 39-42.
5. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин: учебник / Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. - 472 с.

6. Клейдман О.В., Клейдман М.Д. Анализ усталостной долговечности образца – свидетеля истории нагружения диска паровой турбины в расчётном комплексе NCODE for ANSYS // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национ. с междунар. участ. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и спец. Тюмень, 2023. С. 60-63.

7. Пахомов С.А., Маслов И.Н. Механика конструкций в COMSOL Multiphysics. // Инновационные идеи молодых исследователей: материалы XII Междунар. науч.-практ. Конф. Уфа, 2023. С. 63-66

8. Ютанова А.А., Клейдман М.Д. Анализ НДС на основе МКЭ цельнокованого ротора турбины при действии эксплуатационных нагрузок с учётом дефектов в осевом канале // XXVI Всерос. аспирант.-магистр. науч. сем-р, посвящ. дню энергетика: матер. докл, Казань, 2022. Том 2. С. 184-187.

УДК 81

## **ВЛАДЕНИЕ АНГЛИЙСКИМ ЯЗЫКОМ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Семенов Илья Вадимович

Науч. рук к.филол.н., доц. Рахматуллина Диана Эдуардовна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан  
semel40774@gmail.com

В этой статье автор рассматривает необходимость изучения английского языка специалистами энергетического сектора. Кроме этого, уделяется внимание важности преподавания английского языка в технических вузах.

**Ключевые слова:** энергетика, английский язык, международное сотрудничество, преподавание языка, техническая документация.

## **ENGLISH LANGUAGE PROFICIENCY OF ENERGY INDUSTRY SPECIALISTS**

Semenov Ilya V.

Scientific advisor Rakhmatullina Diana E.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
semel40774@gmail.com

In this article, the author examines the need to learn English for energy sector specialists. In addition, the author pays attention to the importance of teaching English in universities with technical specialties.

**Keywords:** energy, English, international cooperation, language teaching, technical documentation.

Английский язык играет важную роль в энергетических специальностях, поскольку эта отрасль является международной и постоянно развивается. Надлежащее знание английского языка в этой области открывает множество возможностей для профессионального роста и сотрудничества с международными партнерами.

Учитывая сложность и специфику энергетических специальностей, владение техническим английским языком является необходимым навыком для работы в этой отрасли. Это включает в себя понимание специальной терминологии, технической документации, инструкций по технике безопасности и других важных материалов, связанных с процессами выработки, передачи и потребления энергии.

Свободное владение английским языком позволяет специалистам эффективно общаться с коллегами, клиентами и партнерами со всего мира. В энергетической отрасли международное сотрудничество является ключевым аспектом, а общение на английском облегчает совместную работу над глобальными проектами.

Также знание английского языка обеспечивает доступ к актуальным научным статьям и исследованиям в области энергетики, проводимым ведущими университетами и исследовательскими центрами по всему миру. Это позволяет вам быть в курсе последних технологических достижений и новых методов в энергетической отрасли [3].

Владение английским языком представителей энергетических специальностей является неотъемлемой частью их профессионального роста и успеха в этой отрасли. Знание английского языка помогает не только освоить технические аспекты, но и наладить эффективную коммуникацию с международными партнерами, как и быть в курсе последних событий и тенденций в энергетическом секторе.

В связи с этим преподавание английского языка в техническом вузе – важная и ответственная задача, требующая от преподавателя не только высокого уровня владения языком, но и специальных знаний и умений в области техники и технологий.

В свете стремительного развития и глобализации технологического сектора владение английским языком становится все более востребованным в области технологий и инжиниринга. Именно поэтому преподавание английского языка в техническом университете играет важную роль в оказании помощи студентам в изучении языка, необходимого для успешной карьеры в инженерном сообществе [2].

Основными целями преподавания английского языка в техническом вузе являются развитие навыков чтения, письма, разговорной речи и аудирования, а также повышение общей коммуникативной компетентности студентов. Кроме того, перед преподавателем стоит задача обучения специализированной лексике и терминологии, специфическим навыкам и стандартам в области инженерии и технологий.

Особого внимания заслуживает метод проектного обучения с применением цифровых технологий, который помогает совместить теоретический материал с реальными практическими вопросами. «Данный метод предполагает изучение основных тем своей специальности, дополняя их выполнением проектов на иностранном языке, осуществляя взаимодействие основной специализации и иностранного языка» [4].

Преподавание английского языка в техническом университете требует создания активной и стимулирующей учебной среды, в которой студенты могут развивать свои коммуникативные навыки, применять их на практике и расширять свой кругозор в области технической литературы и современных технологий. Интерактивные методы обучения, такие как обсуждение деловых ситуаций, ролевые игры, проектная работа и использование современных образовательных технологий, играют важную роль в создании мотивации и интереса у студентов.

Кроме того, важным аспектом обучения английскому языку в техническом вузе является подготовка студентов к международным экзаменам по английскому языку, таким как IELTS или TOEFL. Эти экзамены играют важную роль в дальнейшем трудоустройстве студентов и открывают двери для возможности обучения и работы за рубежом [1].

Таким образом, владение английским языком позволяет студентам энергетических специальностей участвовать в международных конференциях, семинарах и тренингах, что в свою очередь поможет им делиться опытом с коллегами из других стран и вносить свой вклад в развитие мирового энергетического сектора в будущей профессиональной деятельности. Преподавание английского языка в техническом вузе – сложный и ответственный процесс, требующий от преподавателя большого опыта, знаний и квалификации.

### **Источники**

1. Крапивина М.Ю., Фомиченко А.С. Специфика перевода английских терминов в профессионально-ориентированном тексте // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2020. Том 13. No 2. С. 170-173.
2. Кузнецова С.В., Грамма Д.В. Некоторые вопросы обучения профессионально-ориентированному английскому языку //

Международный научный журнал «Инновационная наука». 2019. No 12. С. 229-230.

3. Мурадова Н.Т., Эрданова С.А. Обучение профессионально-ориентированному общению на иностранном языке студентов неязыковых вузов // Молодой ученый. 2023. No 11 (58). С. 822-824.

4. Рахматуллина, Д. Э. Проектный метод в преподавании иностранного языка в техническом вузе / Д. Э. Рахматуллина // Внедрение научных исследований в образовательный процесс вуза : материалы II Международного Круглого стола, посвященного Дню преподавателя высшей школы, Казань, 18 ноября 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 57-62.

УДК 648.326

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЦЕНТРИФУГ ПО СПОСОБУ ВЫГРУЗКИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

Соловьева Ангелина Васильевна<sup>1</sup>, Лаптев Сергей Александрович<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>solovyeva090@gmail.com, <sup>2</sup>laptserg@yandex.ru

Рассмотрены конструкции центрифуг и возможность организации в них различных способов выгрузки жидкой фазы.

**Ключевые слова:** центрифуги, способы выгрузки жидкой фазы.

## CLASSIFICATION OF CENTRIFUGES ACCORDING TO THE METHOD OF UNLOADING THE LIQUID PHASE

Solovyova Angelina V. <sup>1</sup>, Laptev Sergey A. <sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabekov Nikolay G.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>KNRTU, Kazan, Republic of Tatarstan solovyeva090@gmail.com

<sup>1</sup>solovyeva090@gmail.com, <sup>2</sup>laptserg@yandex.ru

The designs of centrifuges and the possibility of organizing various methods of unloading the liquid phase in them are considered.

**Keywords:** centrifuges, methods of unloading the liquid phase.



Выгрузка жидкой фазы из центрифуг зависит от принципа работы и её конструктивного исполнения. По принципу выгрузки жидкой фазы центрифуги могут быть периодического действия, непрерывного действия и непрерывно-периодического. По конструктивному исполнению можно подразделить на: центрифуги с горизонтальными и центрифуги с вертикальными валами. Центрифуги могут быть выполнены с внешним приводом либо без него. В последнем случае раскрутка ротора осуществляется за счет реактивной силы, создающей вращающий момент за счет вытекания с большой скоростью обрабатываемой смеси из сопел, расположенных перпендикулярно радиусу барабана центрифуги.

В вертикальных центрифугах можно выполнить конструкции с подвижными (вращающимися) валами с валом-осью не вращающейся, во круг которой вращается барабан центрифуги. В центрифугах с вращающимися вертикальными валами возможны варианты с верхним и нижним приводом, тогда выгрузку жидкой фазы желательно проводить с противоположной стороны от привода.

В вариантах с неподвижным валом-осью часто используются полые оси с возможностью перемещения в полостях как подаваемой смеси, так и разделенных по плотности жидкостей.

Выгрузка жидкой фазы в различных конструкциях в соответствии с приведенной классификацией может быть пассивной, с использованием силы тяжести и активной с использованием скоростного напора. Скоростной напор создается линейной скоростью вращающейся с барабаном жидкостью, поступающей в неподвижные элементы, погруженные за поверхность жидкости. В качестве неподвижных элементов для создания скоростного напора используются напорные диски, выполненные с профилированными лопастями, различных кольцевых вставок, либо напорные трубки. Напорные трубки развернуты открытым срезом навстречу набегающему потоку жидкой фазы, вращающейся совместно с ротором. Напорную выгрузку жидкой фазы всегда конструктивно сложнее выполнить, но при этом способе возможно получить некоторые преимущества, как по уменьшению габаритов устройства, так и при организации технологического процесса в целом.

В конструкциях центрифуг, предназначенных для разделения нескольких компонентов выполнение приемных отсеков для выгрузки жидких продуктов и конструкция центрифуги в целом, существенно усложняется [1].

Для точного фракционирования жидких продуктов центрифугирования в центрифугах используются регулирующие

элементы, позволяющие проводить отладку режима разделения непосредственно на ходу [2, 3]. Регулирующие элементы бывают в центрифугах как с пассивной выгрузкой, так и с выгрузкой с использованием скоростного напора. Дополнительный напор может быть использован для закачки продукта в вышестоящую емкость, что позволяет организовать рециркуляцию жидкости без дополнительного насоса [4].

Основные элементы центрифуг такие как корпус ротора, а также элементы для выгрузки должны быть рассчитаны на прочность, долговечность, колебания, что можно осуществить при помощи пакетов прикладных программ [5, 6].

### Источники

1. Авторское свидетельство № 595010 А1 СССР, МПК В04В 1/12, В04В 11/02. Центрифуга для разделения газожидкостных смесей: № 2422470: заявл. 22.11.1976: опубл. 28.02.1978 / Н.Р. Плотников, Б.Г. Риттенберг ; заявитель предприятие П/Я М-5356.

2. Авторское свидетельство № 1353509 А1 СССР, МПК В04В 1/12, В04В 9/06. Центрифуга: № 3292321: заявл. 27.05.1981: опубл. 23.11.1987 / А.И. Бячков, А.А. Гильманов, Г.А. Павлов; заявитель Государственный научно-исследовательский и проектный Институт нефтяной и газовой промышленности им.В.И. Муравленко.

3. Патент № 2188080 С1 Российская Федерация, МПК В04В 1/10, В04В 11/00. Центрифуга для разделения многокомпонентной жидкой среды "центрограф": № 2001119862/13: заявл. 19.07.2001: опубл. 27.08.2002 / Э. И. Асриев.

4. Лаптев С.А. Исследование узла регенерации отработанного масла с агрегатом для комбинирования различных стадий и методов очистки // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2022 (МНТК "ИМТОМ - 2022"): Материалы XI-й Международной научно-технической конференции, Казань, 08 декабря 2022 года. Том Часть 2. – Казань: Акционерное общество "Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий", 2022. – С. 196-198.

5. Ютанова А.А., Клейдман М.Д. Анализ НДС на основе МКЭ цельнокованого ротора турбины при действии эксплуатационных нагрузок с учётом дефектов в осевом канале // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика: материалы докладов: в 3 т., Казань, 06–07 декабря 2022 года. Том 2. – Казань:

Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 184-187.

6. Клейдман О.В., Клейдман М.Д. Анализ усталостной долговечности образца - свидетеля истории нагружения диска паровой турбины в расчётном комплексе NCODE for ANSYS // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, учёных и специалистов, Тюмень, 20–22 декабря 2023 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. – С. 60-63.

УДК 621.311

## **ВНЕДРЕНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВОГО ПРОБОЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Солуянов Владимир Иванович<sup>1</sup>, Гусаров Артур Георгиевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ахметшин Азат Ринатович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>vs@tatem.ru, <sup>2</sup>arthur.gusarov@mail.ru

Статья посвящена внедрению устройств защиты от дугового пробоя в электроустановках жилых и общественных зданий. Изменением № 6 к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» выполнена актуализация требований и рекомендаций по применению устройств защиты от дугового пробоя, доработка типовых проектных решений и актуализация области применения защитного устройства.

**Ключевые слова:** устройства защиты от дугового пробоя, жилые и общественные здания, параллельный дуговой пробой, искровые замыкания.

## **IMPLEMENTATION OF ARC FLASH PROTECTION DEVICES IN ELECTRICAL INSTALLATIONS OF RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS**

Soluyanov Vladimir I.<sup>1</sup>, Gusarov Artur G.<sup>2</sup>

Scientific advisor Akhmetshin Azat R.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>vs@tatem.ru, <sup>2</sup>arthur.gusarov@mail.ru

The article is devoted to the implementation of arc flash protection devices in electrical installations of residential and public buildings. Amendment No. 6 to SP 256.1325800.2016 "Electrical installations of residential and public buildings. Design and Installation Rules" updated the requirements and recommendations for the use of arc flash protection devices, refined standard design solutions and updated the scope of application of the protective device.

**Keywords:** arc flash protection devices, residential and public buildings, parallel arc flash, spark faults.

Почти половина всех пожаров в зданиях и сооружениях, случившихся в стране за 2022 год, произошла из-за неисправности электропроводки и оборудования [1, 2].

Первоочередной причиной возникновения пожаров из-за аварийного режима работы электрических сетей и оборудования является дуговой пробой (искрение) [3, 4]. Аппаратом для предотвращения данных видов ситуаций является устройство защиты от дуговых пробоев (УЗДП) – третья ступень защиты [5, 6].

С целью внедрения УЗДП в электроустановках жилых и общественных зданий были разработаны Изменения № 6 к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», включающие:

- актуализацию требований по применению УЗДП в электроустановках зданий на основе накопившейся практики применения УЗДП, результатов эксплуатации УЗДП в составе электроустановок, в т.ч. жилых зданий;
- дополнение разделов, регламентирующих выбор и применение УЗДП, в т.ч. применение многополюсных УЗДП;
- типовые схемы применения УЗДП в электроустановках жилых и общественных зданий (рис. 1 и рис. 2) актуализированы и приведены в соответствие с системой проектной документации для строительства;
- обновлены требования к монтажу и подключению УЗДП.

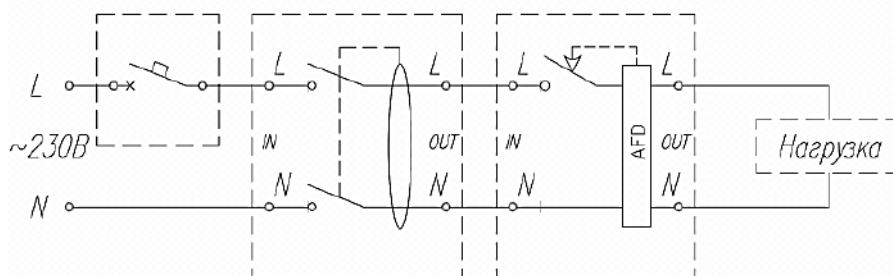


Рис. 1. Типовая схема однополюсного УЗДП с однополюсным автоматическим выключателем и двухполюсным устройством дифференциального тока.

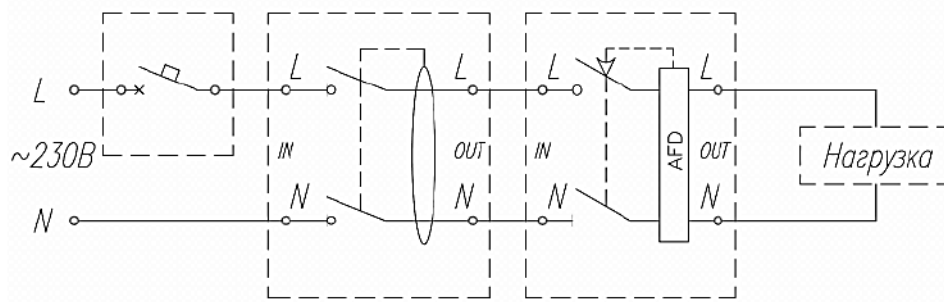


Рис. 2. Типовая схема двухполюсного УЗДП с автоматическим выключателем и двухполюсным устройством дифференциального тока.

Актуализация требований к применению УЗДП в электроустановках жилых и общественных зданий закрепит и усилит положительный эффект от применения УЗДП, выражающийся в предотвращении возгораний и пожаров, вызванных дуговыми пробоями и искрением в электропроводках групповых сетей в жилых и общественных зданиях, и способствует защите жизни и здоровья людей, сохранности зданий и сооружений, находящихся в них оборудования, а так же других материальных и культурных ценностей.

### Источники

1. Тюрин А.Н. Оценка эффективности работы устройств защиты от дугового пробоя в жилых и общественных зданиях // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 19–23 апреля 2023 года. Том 2. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2023. С. 426-429.

2. Soluyanov Y., Tyurin A., Akhmetshin A. Test of Arc Fault Detection Devices for Operation from Spark Gaps and Arc Fault in an Electric Circuit of 0.4 kV // 2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Publisher: IEEE, DOI: 10.1109/UralCon 59258.2023.10291069.

3. Ившин И. В., Ерашова Ю. Н., Тюрин А. Н. Особенности внедрения устройств защиты от дугового пробоя в электрических сетях до 1 кВ // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух

томах. Том 1. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. С. 370-374.

4. Тюрин А. Н., Солуянов Ю. И., Шмуклер М. И., Ившин И. В. Устройство для проверки аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков. Патент на полезную модель № 200084 от 05.10.2020 г. Заявка № 2020116982 от 22.05.2020 г.

5. Ерашова Ю. Н., Ившин И. В., Ившин И. И., Тюрин А. Н. Испытания устройства защиты от дугового пробоя и искровых промежутков на срабатывание // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. Т. 23, № 3. С. 168-180. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-168-180.

6. Тюрин А. Н. Оценка эффективности работы устройств защиты от дугового пробоя в жилых и общественных зданиях // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 19–23 апреля 2023 года. Том 2. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2023. С. 426-429.

УДК 621.65.07

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ СПИРАЛЬНОГО ОТВОДА СТУПЕНИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С ПОМОЩЬЮ АРІ «КОМПАС-3D»**

Стасеев Александр Александрович <sup>1</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Жарковский Александр Аркадьевич

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт-Петербург, Ленинградская область

<sup>1</sup>greenalh@gmail.com

В статье приведено описание функционирования программного обеспечения, предназначенного для проектирования спирального отвода, алгоритмом последующего трансфера полученных геометрических параметров в САД-систему «Компас-3D» и автоматическим построением жидкотельной модели спирального отвода.

**Ключевые слова:** Спиральный отвод, Python, Компас 3D, автоматизация.

# AUTOMATED DESIGN OF 3D MODELS OF SPIRAL OUTLET OF A CENTRIFUGAL PUMP STAGE USING KOMPAS-3D API

Staseev Aleksandr A.

Scientific advisor Zharkovsky Alexander A.

SPbPU, Saint-Petersburg, Leningrad region

greenalh@gmail.com

The article provides a description of sufficient software designed for designing a spiral outlet using an algorithm for transferring the obtained geometric parameters to the Compass-3D CAD system and automatically constructing a fluid model of a spiral outlet.

**Keywords:** Spiral outlet, Python, Kompas 3D, automatization.

Возрастание вычислительных возможностей ЭВМ и всеобщего тренда на автоматизацию производственных процессов оказало влияние на развитие автоматизированного проектирования проточных частей гидравлических машин [1, 2]. В Высшей школе «Энергетическое машиностроение» СПбПУ производится разработка программного обеспечения, позволяющего выполнять автоматическое проектирование ступеней центробежных насосов. Проектирование спирального отвода выполнялось для ступени с исходными данными, приведёнными на рисунке 1.

Исходные данные	
Расход через насос (м³/с)	0.0185
Напора насоса (м)	45.0
Частота вращения (об/мин)	2900.0
Требуемый КПД	0.65
Доп. кав. запас (м)	3.5
Число потоков (шт.)	1.0
Число ступеней (шт.)	1.0

Рабочая среда	
Наименование	
Температура (°C)	20.0
Плотность (кг/м³)	998.0
Коэффициент вязкости (м²/с)	1e-05

Кавитационные качества  
 Обычные  Повышенные

Тип РК  
 Центробежное  Шнеко-центробежное  
Расположение РК на валу  
 Без втулки  Со втулкой

Тип отвода  
 Спиральный  Канальный  Лопаточный

Тип подвода  
 Осевой  Боковой  Канальный

Рис. 1 Техническое задание проектируемой ступени

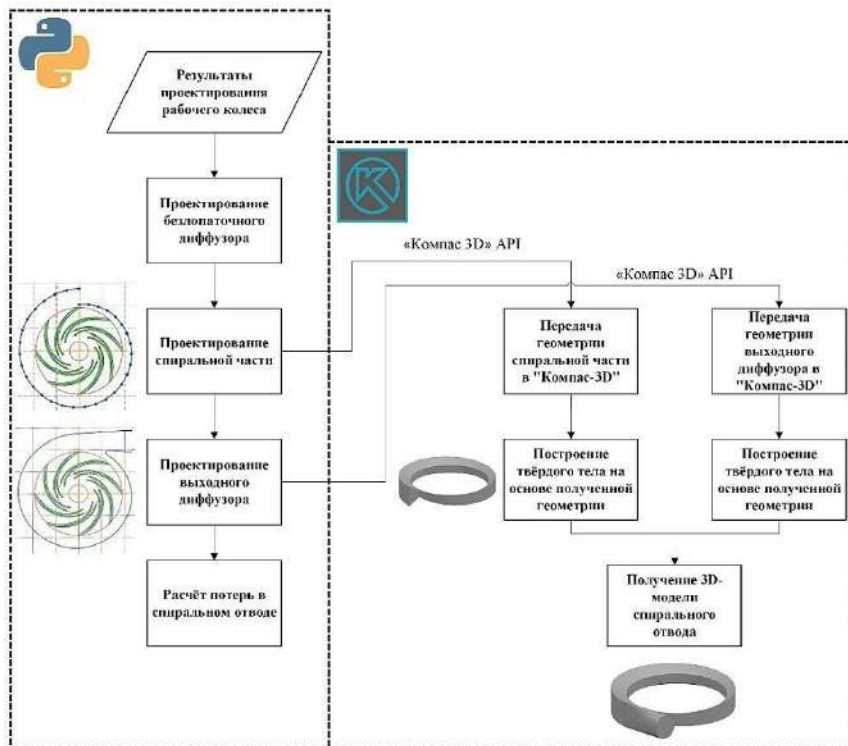


Рис. 2 Алгоритм построения 3D-модели спирального отвода

На рисунке 2 продемонстрирован алгоритм построения 3D-модели спирального отвода, состоящий из двух модулей. Алгоритм первого модуля разработан на основе методологии, изложенной в [3], и отвечает за проектирование спирального отвода в разрабатываемом программном комплексе. Второй модуль обрабатывает полученные геометрические параметры и выполняет автоматическое построение 3D-геометрии спирального отвода с помощью команд API «Компас-3D» [4].

С помощью разработанного алгоритма удалось автоматизировать процесс построения 3D-модели спирального отвода, что позволяет снизить временные затраты при проектировании ступени центробежного насоса. Полученные 3D-модели в составе ступени центробежного насоса в дальнейшем будут переданы в пакеты вычислительной гидродинамики для апробации полученных энергетических параметров.

## Источники

1. Голиков В. А., Жарковский А. А., Топаж Г. И. Программные комплексы для расчета течения и автоматизированного проектирования лопастных гидромашин //Материаловедение. Энергетика. – 2012. – №. 1 (142). – С. 199–206.



2. Pansare R., Palsodkar M. Agility through design automation: A study on centrifugal pump design //2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE). – IEEE, 2017. – С. 1-8.

3. Ломакин А. А. Центробежные и осевые насосы: 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1966. 364 с.

4. Руководство пользователя КОМПАС-Invisible (API КОМПАС-3D). URL: <https://kompas.ru/source/documents/2021/%D0%A0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%20КОМПАС-Invisible.pdf> (дата обращения: 29.02.2023).

УДК 662.76

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА

Сулейманова Айзиля Айратовна<sup>1</sup>, Хадиева Алсу Рафисовна<sup>2</sup>,  
Клейн Евгений Васильевич<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич<sup>4</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>aizila05@mail.ru, <sup>2</sup>hadieva2203@gmail.com, <sup>3</sup>zombie1997@mail.ru, ig-mas@mail.ru<sup>4</sup>

В этой статье будет рассмотрен низкотемпературный газогенератор, предназначенный для получения газа температурой 350-450 К, строение и режимы работы, которые позволят лучше представить само устройство.

**Ключевые слова:** низкотемпературный газогенератор, режимы работы, выработка газа.

## OPERATING MODES OF THE LOW-TEMPERATURE GAS GENERATOR

Suleimanova Aizilya A <sup>1</sup>, Khadieva Alsu R.<sup>2</sup>, Klein Eugene V<sup>3</sup>  
Scientific advisor Maslov Igor N.<sup>4</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>aizila05@mail.ru, <sup>2</sup>hadieva2203@gmail.com, <sup>3</sup>zombie1997@mail.ru, <sup>4</sup>ig-mas@mail.ru

This article will discuss a low-temperature gas generator designed to produce gas at a temperature of 350-450 K, its structure and operating modes, which will allow a better understanding of the device itself.

**Keywords:** low-temperature gas generator, operating modes, gas production.

Низкотемпературный газогенератор, сокращенно НТГГ – это инновационное технологическое устройство, предназначенное для производства газа при низкой температуре и давлении. Такой тип газогенераторов отличается от других своей эффективностью и экономичностью, позволяя использовать различные виды твердого топлива для получения полезного газа.

НТГГ включает два ключевых компонента. Первый – это камера сгорания, заполненная твердым топливом, а второй – камера охлаждения, в которой находятся гранулы твердого охладителя. При сгорании твердого топлива образуются продукты сгорания. Они не могут быть использованы в ряде технических устройств. Однако, благодаря взаимодействию газа с гранулами твердого охладителя в камере охлаждения, происходит охлаждение газа. Важно отметить, что термическое разложение части внутренней энергии газа при этом используется для процесса охлаждения [1].

Функции низкотемпературного газогенератора разнообразны и определяются в зависимости от целей, которые нужно достичь. Эти устройства широко используются в различных промышленных секторах, включая энергетику, металлургию, химическую промышленность и других [2].

Один из ключевых режимов работы – это непрерывная эксплуатация газогенератора. В этом режиме происходит постоянная загрузка топливного материала и получение газового продукта. Такой режим применяется, например, при производстве электроэнергии с использованием газогенератора. В этом случае происходит сжигание топлива внутри генератора, получение синтезгаза из выхлопных газов и его дальнейшее использование для генерации электричества.

Еще одним распространенным режимом работы является периодическая работа газогенератора. В этом режиме загрузка и выгрузка топливного материала происходят с определенными промежутками времени. Периодическая работа газогенератора может быть использована для получения тепловой энергии, например, в промышленных печах или котельных.

Также существуют режимы работы газогенератора, связанные с его техническим обслуживанием и регулированием работы. Например, режим резервирования предполагает работу газогенератора в резерве, чтобы в случае аварии или неполадок он мог бы заменить основной источник энергии.

Для охлаждения продуктов горения твердого топлива используются низкотемпературные газогенераторы, оснащенные камерой охлаждения с твердым охладителем в виде гранул разной формы. Гранулы твердого охладителя – это специализированный тип материалов, который используется для быстрого отвода и рассеивания тепла в различных системах охлаждения. Они обычно используются в высокопроизводительных компьютерах, серверах, системах промышленного охлаждения и другом оборудовании, где требуется эффективное управление теплом. Гранулы твердого охладителя могут быть изготовлены из различных материалов, включая воду, силиконовые масла, органические теплоносители и смеси различных веществ, каждый из которых имеет свои уникальные свойства и преимущества [3].

Низкотемпературные газогенераторы отличаются от обычных газогенераторов несколькими ключевыми характеристиками. Во-первых, они работают при более низких температурах (обычно ниже 1200 градусов Цельсия), что позволяет использовать их для обработки более широкого спектра сырья. Во-вторых, они обычно оснащены более сложными системами охлаждения для поддержания низкой температуры процесса. В-третьих, они могут использовать различные виды топлива для нагрева камеры сгорания, что делает их более универсальными. И наконец, низкотемпературные газогенераторы могут быть более экологичными, поскольку они используют биомассу в качестве сырья и могут сократить выбросы парниковых газов [4].

### **Источники**

1. Кириллов, В. В. Моделирование режимов работы низкотемпературного газогенератора / В. В. Кириллов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 5-17.

2. Хайруллина, А. М. Применение альтернативных видов топлива в энергетике / А. М. Хайруллина, И. Н. Маслов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 139-141.

3. Аксёненко Д.Д., Ваулин С.Д., Зезин В.Г., Кириллов В.В. и др. Теоретическое и экспериментальное исследование низкотемпературных

газогенераторов: монография / под ред. А.М. Липанова. Ижевск : ИПМ УрОРАН, 2008. 255 с.

4. Максимов, С. П. Использование различных видов топлива на современных электрических станциях для повышения КПД и снижения выбросов в атмосферу / С. П. Максимов, И. Н. Маслов, Г. Д. Маслова // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 166-169.

УДК 621.438

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА В РОССИИ**

Терская Арина Алексеевна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

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

<sup>1</sup>terskaya.arina@yandex.ru

В статье рассматриваются перспективные направления получения водорода в России. Проводится обзор литературы по основным методам производства водорода, таким как термохимические, электрохимические, биологические и фотохимические. Анализируются российские и зарубежные исследования в этой области. Особое внимание уделяется использованию отечественных энергетических ресурсов, развитию водородной энергетики на базе возобновляемых источников энергии, применению биотехнологий и инновационных технологий в производстве водорода.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, производство водорода, термохимические методы, электрохимические методы, биологические методы, фотохимические методы, возобновляемые источники энергии.

## **PROMISING AREAS OF HYDROGEN PRODUCTION IN RUSSIA**

Terskaya Arina A.

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

terskaya.arina@yandex.ru

The article discusses promising areas of hydrogen production in Russia. A review of the literature on the main methods of hydrogen production, such as thermochemical, electrochemical, biological and photochemical, is conducted. Russian and foreign research in this field is analyzed. Special attention is paid to the use of domestic energy resources, the development of hydrogen energy based on renewable energy sources, the use of biotechnologies and innovative technologies in hydrogen production.

**Keywords:** hydrogen energy, hydrogen production, thermochemical methods, electrochemical methods, biological methods, photochemical methods, renewable energy sources.

Актуальность проблемы получения водорода обусловлена потребностью перехода к устойчивому энергоснабжению, снижению выбросов парниковых газов и диверсификации энергетических ресурсов. Водород является перспективным экологически чистым топливом, способным решить эти глобальные проблемы [1-3]. Целью данной статьи является исследование перспективных направлений получения водорода в России, а также анализ российских и зарубежных исследований в этой области. Задачи статьи включают обзор основных методов производства водорода, выявление перспективных направлений и оценку их эффективности, а также рассмотрение государственной поддержки и частных инвестиций в развитие водородной энергетики. Основные методы производства водорода подразделяются на термохимические, электрохимические, биологические и фотохимические. Термохимические методы основываются на разложении углеводородов или воды [4, 5]. Электрохимические методы включают низкотемпературный электролиз воды и плазменное разложение воды. Биологические методы основаны на использовании микроорганизмов (биофотолиз, биогидролиз, ферментативный разложение) для производства водорода. Фотохимические методы используют солнечную энергию для разложения воды с помощью фотокатализаторов [2]. Российские и зарубежные исследования в области получения водорода нацелены на повышение эффективности и экономической целесообразности существующих методов, а также разработку новых технологий. Специалисты активно работают над совершенствованием технологий и материалов для водородной энергетики. Одним из наиболее перспективных направлений является использование возобновляемых источников энергии для производства водорода, что позволит решить проблемы устойчивости и экологичности энергоснабжения [3]. Что касается преимуществ, то можно выделить следующие направления: низкий уровень выбросов парниковых

газов, устойчивость и доступность ресурсов; биотехнологии в производстве водорода являются перспективным направлением, так как они экологически чистые и могут использовать отходы сельского хозяйства и пищевой промышленности; инновационные технологии и материалы, такие как нанотехнологии, новые катализаторы и мембраны, могут улучшить эффективность и снизить стоимость производства водорода [3]. Государственная поддержка и частные инвестиции играют важную роль в развитии водородной энергетики. В России действуют государственные программы, направленные на развитие отрасли, такие как «Энергоэффективность и развитие энергетики» и «Развитие промышленности и инфраструктуры водородной энергетики». Частные компании, такие как «Ниобиум», «Химкомпозит» и «Энергомаш-НПО», также активно работают в этой области. Однако, для успешного развития водородной энергетики необходимо усилить государственную поддержку и привлечь больше частных инвестиций [1].

В заключении, анализ преимуществ и ограничений этих направлений показал, что возобновляемые источники энергии и биотехнологии являются перспективными, но требуют значительных исследований и инвестиций для повышения эффективности и снижения стоимости. Инновационные технологии и материалы также могут улучшить эффективность и снизить стоимость производства водорода, но находятся на стадии разработки и требуют значительных инвестиций. Развитие водородной энергетики позволит решить проблемы экологии и безопасности энергоснабжения, а также диверсифицировать энергетические ресурсы страны.

### **Источники**

1. Марьин Г. Е., Осипов Б. М., Титов А. В., Ахметшин А. Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035.

2. Марьин, Г. Е. Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марьин Георгий Евгеньевич, 2023. 247 с.

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.

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.

5. 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 621.311

## **ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ИЗОЛИРОВАННОГО РАЙОНА С УЧЕТОМ ФАКТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Терская Арина Алексеевна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>terskaya.arina@yandex.ru

В данной работе представлен обзор литературы, методология исследования, анализ фактических нагрузок, разработка стратегии энергоснабжения и практическая реализация решений. Основное внимание уделяется анализу данных о потреблении электроэнергии, выбору оптимальных источников энергии и разработке плана мероприятий по оптимизации энергопотребления. Результаты исследования могут быть полезны для развития энергетики в изолированных районах и повышения энергоэффективности.

**Ключевые слова:** энергоснабжение, изолированные районы, электрическая нагрузка, фактическое потребление, оптимизация энергопотребления.

## **ENERGY SUPPLY OF AN ISOLATED AREA, TAKING INTO ACCOUNT THE ACTUAL ELECTRICAL LOADS**

Terskaya Arina A.

Scientific advisor Maslov Igor N.

The paper presents a literature review, research methodology, analysis of actual loads, development of an energy supply strategy and practical implementation of solutions. The main focus is on the analysis of data on electricity consumption, the selection of optimal energy sources and the development of an action plan to optimize energy consumption. The results of the study can be useful for the development of energy in isolated areas and improving energy efficiency.

**Keywords:** energy supply, isolated areas, electrical load, actual consumption, optimization of energy consumption.

Энергоснабжение является одним из важнейших аспектов обеспечения жизнедеятельности любого населенного пункта. В то же время, изолированные районы, отдаленные от центральных энергетических систем, часто сталкиваются с серьезными проблемами в обеспечении надежного и стабильного электроснабжения [1-3]. Эти районы, чаще всего, имеют особенности, включающие в себя отсутствие доступа к традиционным источникам энергии, сложности в поставке топлива, а также ограниченные возможности для проведения инфраструктурных работ. Задача обеспечения энергоснабжения в таких районах представляет собой сложную проблему, требующую комплексного подхода и учета множества факторов. Целью данного исследования является выявление ключевых проблем и разработка практических рекомендаций по улучшению энергоснабжения в изолированных районах с учетом реальных электрических нагрузок [1-3]. Для более эффективного планирования и оптимизации системы энергоснабжения изолированных районов необходимо провести детальный анализ фактических электрических нагрузок. Согласно проведенным исследованиям в период с 2019 по 2023 год среднегодовое потребление электроэнергии в Елизовском районе составляло 70 МВтч. Наблюдается значительная сезонная вариация в потреблении электроэнергии: зимой пиковая нагрузка достигает до 100 МВтч из-за увеличенного использования электрообогревателей и отопительных систем, в то время как летом этот показатель снижается до 50 МВтч. Основная часть потребления электроэнергии в районе приходится на промышленные предприятия, которые потребляют около 60% от общего объема. Оставшиеся 40% распределяются между домашними хозяйствами, коммерческими объектами и общественными учреждениями [2]. Анализ



временных трендов показывает устойчивый рост потребления электроэнергии на уровне 5-7% ежегодно. Этот тренд связан с увеличением численности населения в районе, развитием промышленности и сервисных секторов. В следствии чего, на основе этих данных можно сделать вывод о необходимости разработки более эффективных и устойчивых систем энергоснабжения, способных удовлетворить растущие потребности района в электроэнергии. Предлагается разработать стратегию энергоснабжения, основанную на фактических данных о потреблении электроэнергии. Параллельно предлагается разработать план мероприятий по оптимизации энергопотребления, включающий внедрение энергосберегающих технологий, проведение обучающих кампаний и установку смарт-систем управления энергопотреблением. Такой комплексный подход позволит обеспечить надежное и эффективное энергоснабжение района, учитывая его специфические потребности и условия окружающей среды. Исходя из проведенного анализа фактических электрических нагрузок за последние пять лет, а также рассмотрения различных аспектов разработки стратегии энергоснабжения, можно сделать ряд выводов: пиковые нагрузки на электросети района приходятся на зимний период, что требует особого внимания к выбору оптимальных источников энергии, способных обеспечить стабильное электроснабжение в условиях сезонных колебаний [4-6]; необходимо провести модернизацию и расширение инфраструктуры энергоснабжения с учетом роста потребления электроэнергии в районе. И, наконец, внедрение плана мероприятий по оптимизации энергопотребления, включая использование энергосберегающих технологий и обучающие кампании, позволит эффективно управлять потреблением и повысить энергоэффективность системы. Таким образом, разработка и реализация комплексной стратегии энергоснабжения на основе фактических данных позволит обеспечить надежное, устойчивое и эффективное энергоснабжение в Елизовском районе, соответствуя его потребностям и специфике.

#### **Источники**

1. 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.
2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.

4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

УДК 621.438

## **РАДИАЛЬНОЕ ТРАВЕРСИРОВАНИЕ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА НАТУРНОЙ ГТУ**

Теткин Игорь Юрьевич<sup>1</sup>, Седунин Вячеслав Алексеевич, Калинин Илья Александрович,  
Рафиков Мурат Булатович

Науч. рук. преп. Марченко Юрий Глебович

ФГАОУ ВО «УрФУ», г. Екатеринбург, Свердловская область

<sup>1</sup>tetkin.igor22@yandex.ru

В данной статье представлено исследование по проведению траверсирования натурной ГТУ. Разработан механизм для траверсирования, а также сформулированы его основные практические ограничения. Ключевым выводом является то, что проведение траверсирования на реальной ГТУ возможно, а использование CFD методов расчета позволяет добиться высокой точности получаемых результатов.

**Ключевые слова:** траверсирование, осевой компрессор, ГТУ, течение в сложных каналах, цилиндрические пневматические насадки.

## RADIAL TRAVERSING OF THE AXIAL COMPRESSOR OF THE FULL-SCALE GTU

Tetkin Igor Yurievich.<sup>1</sup>, Sedunin Vyacheslav Alekseevich, Kalinin Ilya Alexandrovich,  
Rafikov Murat Bulatovich  
Scientific advisor Marchenko Yuri G.  
UrFU, Ekaterinburg, Sverdlovsk region  
<sup>1</sup>tetkin.igor22@yandex.ru

This article presents a study on the traversing of a full-scale GTU. A mechanism for traversing has been developed, and its main practical limitations have been formulated. The key conclusion is that traversing on a real GTU is possible, and the use of CFD calculation methods makes it possible to achieve high accuracy of the results obtained.

**Keywords:** traversing, axial compressor, GTU, flow in complex channels, cylindrical pneumatic nozzles.

Полную картину распределения давлений по ступеням в стационарных компрессорах ГТУ возможно получить только при радиальном траверсировании, которое представляет собой погружение измерительного насадка в осевой зазор между венцами [1]. Основными практическими ограничениями при траверсировании осевых компрессоров натуральных ГТУ являются: ограниченный доступ на корпусе компрессора для траверсирующего оборудования из-за ребер, отборов и т.д., закрутка лопаток, наличие осевых и тангенциальных навалов у современных машин, а также малые осевые зазоры вследствие чего необходимо учитывать прогиб зонда.

Учитывая практические ограничения, был разработан траверсирующий механизм, который представлен на рисунке 1. Главным его элементом является измерительный насадок, который представляет собой металлический цилиндр с тремя отверстиями, предназначенными для измерения давлений и температуры (рисунок 2). Первоначально конструкция была взята из [1], но далее была адаптирована под траверсирование многоступенчатого осевого компрессора [2]. С помощью него были получены профили полного и статического давлений, полной температуры и угла потока по высоте межлопаточных каналов между ступенями на установившихся режимах.

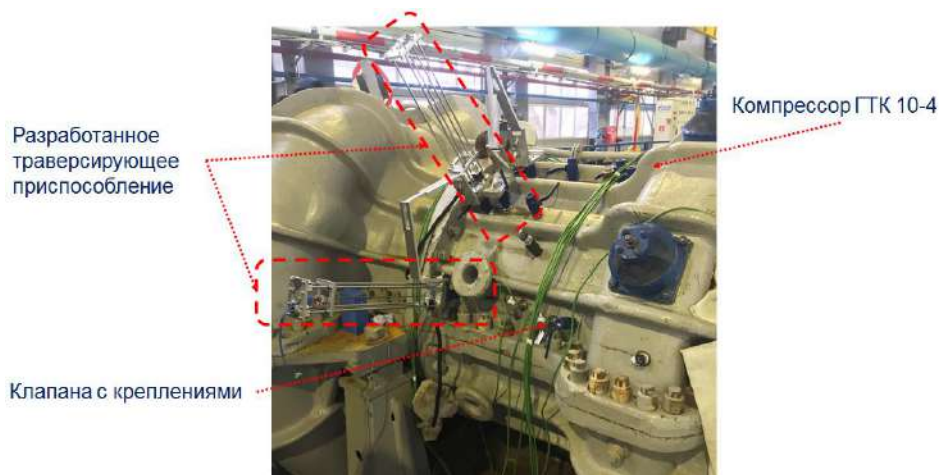


Рис. 1. Установка траверсирующего устройства на корпус ОК



Рис. 2. Цилиндрический насадок с тремя отверстиями под углом 42 градуса (1), резьбовым наконечником (2), камерой торможения (3), пневмолиниями (4)

При погружении измерительного насадка в непосредственной близости от лопаток направляющего аппарата, насадок измеряет локальные параметры потока в точке погружения насадка [3, 4]. При анализе полученных данных было выявлено, что различия между измеренными параметрами и средними по окружности значениями связаны с градиентом поля давлений на входе в венец, который можно учесть с помощью CFD моделирования. Также траверса вносит возмущение в поток, что изменяет параметры от фактического значения невозмущённого потока в зависимости от положения датчика в окружном направлении, а также от параметров потока на входе, что требует введения дополнительных поправочных коэффициентов, которые могут быть получены основании CFD моделирования течения с погружённым насадком.

При проведении траверсированные ОК натурной ГТУ необходимо учитывать конструктивные ограничения, а также положение насадка для

введения поправочных коэффициентов, которые позволяют добиться достоверной картины распределения параметров в межлопаточном канале.

Разработанные методы, включающие определение необходимых поправок измерений, могут быть универсально применимы к аналогичным осевым компрессорам натуральных ГТУ.

#### **Источники**

1. Coldrick S., Ivey P., Wells R., 2003, "Considerations for Using 3-D Pneumatic Probes In HighSpeed Axial Compressors," J. Turbomach. Jan 2003, 125(1): 149-154.

2. Kupferschmied P., 1998, "Zur Methodik zeitaufgelöster Messungen mit Strömungssonden in Verdichtern und Turbinen", ETH dissertation No. 12774, Zürich, Switzerland.

3. V.A. Sedunin, L. Xu, I.A. Kalinin, I.G. Marchenko, O.V. Komarov, 2023, "A flow field around a cylindrical probe in proximity to stator blades and its effect on the measurements," J. of Physics Conference Series 2511(1):012029.

4. Coldrick, S, Ivey, PC, & Wells, RG., 2004, "The Influence of Compressor Aerodynamics on Pressure Probes: Part I — In Rig Calibrations," Proceedings of the ASME Turbo Expo 2004: Power for Land, Sea, and Air. Volume 2: Turbo Expo 2004. Vienna, Austria. June 14–17, 2004. pp. 509-514. ASME.

УДК 620.9

## **ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ НАМИБИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕСТНЫХ РЕСУРСОВ**

Обаджа Ханго

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Рашидовна Мингалеева Гузель

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

khango80@bk.ru

В статье приводятся результаты исследования доступа Республики Намибия к нескольким видам местных энергетических ресурсов с различным техническим и экономическим потенциалом. Проведен анализ электроэнергетического сектора Республики Намибия, а также проектов по наращиванию генерирующих мощностей, в том числе с использованием возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** энергетические ресурсы, биомасса, энергия солнца, водород.

# POTENTIAL FOR DEVELOPMENT OF ENERGY SYSTEM OF THE REPUBLIC OF NAMIBIA USING LOCAL RESOURCES

Obadja Hango

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

khango80@bk.ru

The article presents the results of a study of the Republic of Namibia's access to several types of local energy resources with different technical and economic potential. The analysis of the electric power sector of the Republic of Namibia, as well as projects to increase generating capacity, including using renewable energy sources, was carried out.

**Keywords:** energy resources, biomass, solar energy, hydrogen.

Намибия, расположенная на юго-западе Африки, обладает разнообразными энергетическими ресурсами. Страна известна своим значительным потенциалом в области возобновляемых источников энергии, особенно энергии солнца и ветра. Вот несколько ключевых моментов, касающихся энергетических ресурсов в Республике Намибия.

**Солнечная энергия.** В стране обширные территории с высоким уровнем солнечной радиации, что делает ее пригодной для производства солнечной энергии. 300 солнечных дней (3 000 солнечных часов) в году, годовая солнечная радиация достигает значений от 2200 до 2400 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Для использования этого потенциала было реализовано несколько солнечных ферм и проектов [1].

**Энергия ветра.** Прибрежный регион Намибии характеризуется сильными порывистыми ветрами, что делает его идеальным местом для выработки энергии из ветра. Пустыня Намиб и другие ветреные районы предоставляют отличные возможности для установки ветряных электростанций. Были разработаны проекты в области ветроэнергетики, и ожидается, что их количество в будущем увеличится [2].

**Энергия биомассы.** Намибия обладает значительным потенциалом в области биомассы благодаря своим обширным сельскохозяйственным и лесным ресурсам. Биомассу можно использовать для выработки электроэнергии, отопления и приготовления пищи. Технологии из биомассы, такие как производство биогаза, были внедрены в некоторых областях [3].

**Нефть и газ на шельфе.** Намибия обладает потенциальными запасами нефти и газа на шельфе, особенно вдоль атлантического

побережья. Геологоразведочные работы продолжаются, и страна активно привлекает инвестиции в разведку и добычу нефти и газа на шельфе [4].

**Уран.** Намибия является одним из крупнейших мировых производителей урана. Месторождения урана в стране значительны, а добыча полезных ископаемых способствует пополнению энергетических ресурсов Намибии [5].

**Гидроэнергетика.** Хотя Намибия располагает ограниченными водными ресурсами, в некоторых районах есть потенциал для реализации маломасштабных гидроэнергетических проектов. Эти проекты могут использовать энергию рек и ручьев, обеспечивая местное электроснабжение в определенных регионах [6].

**Зеленый водород.** Экологически чистая водородная энергетика является многообещающим решением для удовлетворения энергетических потребностей Намибии. Экологически чистый водород относится к водороду, производимому с использованием возобновляемых источников энергии, таких как энергия солнца или ветра. Намибия обладает богатыми солнечными и ветровыми ресурсами, что делает ее идеальным местом для производства экологически чистого водорода.

Инвестируя в экологически чистую водородную энергетику, Намибия может снизить свою зависимость от ископаемого топлива и внести свой вклад в глобальные усилия по борьбе с изменением климата. Зеленый водород может использоваться в качестве экологически чистого топлива для транспорта, выработки электроэнергии и промышленных процессов. Кроме того, экологически чистое производство водорода может создать новые рабочие места и стимулировать экономический рост в Намибии. Создание мощностей по производству водорода и соответствующей инфраструктуры привлекло бы инвестиции и способствовало бы развитию устойчивого энергетического сектора/ Намибия признает важность диверсификации своего энергетического баланса и снижения зависимости от импортируемой электроэнергии. Правительство внедрило политику и стимулы для содействия развитию возобновляемых источников энергии, особенно солнечной и ветровой. Эти инициативы направлены на расширение доступа к чистой и недорогой энергии при одновременном сокращении выбросов парниковых газов и содействии устойчивому развитию страны [7].

### **Источники**

1. Namibia has abundant sunlight making solar energy a valuable resource [Электронный ресурс] – URL:

<https://www.bing.com/search?q=namibia+has+abundant+sunlight+making+solar+energy+a+valuable+resource&FORM=HDRSC1> (дата обращения 04.02.2024 г.).

2. Renewable Energies [Электронный ресурс] – URL: <https://www.giz.de/en/downloads/giz2022-en-sector-brief-namibia-renewable-energy.pdf> (дата обращения 07.02.2024 г.).

3. Solid Biomass Energy in Namibia [Электронный ресурс] – URL: [https://energypedia.info/wiki/Solid\\_Biomass\\_Energy\\_in\\_Namibia](https://energypedia.info/wiki/Solid_Biomass_Energy_in_Namibia) (дата обращения 21.02.2024 г.).

4. Major Discoveries Propelling Orange Basin’s Energy Potential [Электронный ресурс] – URL: <https://energycapitalpower.com/oil-gas-discoveries-orange-basins-energy-potential/> (дата обращения 24.02.2024 г.).

5. Uranium mining in Namibia [Электронный ресурс] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Uranium\\_mining\\_in\\_Namibia](https://en.wikipedia.org/wiki/Uranium_mining_in_Namibia) (дата обращения 14.02.2024 г.).

6. Namibia Energy Situation [Электронный ресурс] – URL: [https://energypedia.info/wiki/Namibia\\_Energy\\_Situation#Renewable\\_Energy](https://energypedia.info/wiki/Namibia_Energy_Situation#Renewable_Energy) (дата обращения 04.02.2024 г.).

7. Green Hydrogen: Namibia’s gateway to a clean energy future [Электронный ресурс] – URL: <https://www.controlrisks.com/our-thinking/insights/green-hydrogen-namibias-gateway-to-a-clean-energy-future> (дата обращения 26.02.2024 г.).

УДК 665.62

## **РАЗРАБОТКА ПИЛОТНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ АПРОБАЦИИ СТАДИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ**

Хасанова Алия Хусаиновна<sup>1</sup>, Лаптев Сергей Александрович<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Лаптева Татьяна Владимировна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>alina.anvar@mail.ru, <sup>2</sup>laptserg@yandex.ru

Предложен вариант пилотной установки для интенсификации стадии предварительной подготовки нефти с удалением из продукции скважин механических примесей, растворенных солей, воды с использованием гидроциклонов и центрифуг.

**Ключевые слова:** подготовка нефти, интенсификация, центробежные аппараты.



## DEVELOPMENT OF A PILOT PLANT FOR TESTING THE OIL PRETREATMENT STAGE

Khasanova Alina Kh <sup>1</sup>, Laptev Sergey A. <sup>2</sup>

Scientific advisor Lapteva Tatyana V.

<sup>1,2</sup>KNRTU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>alina.anvar@mail.ru, <sup>2</sup>laptserg@yandex.ru

A variant of a pilot installation is proposed for intensifying the stage of preliminary oil preparation with the removal of mechanical impurities, dissolved salts, and water from well production using hydrocyclones and centrifuges.

**Keywords:** oil preparation, intensification, centrifugal devices.

На стадии подготовки скважинной продукции на нефтепромыслах возникает ряд проблем. В настоящее время в продукциях скважин с высокой обводненностью от 35 % до 85 % имеют место механические примеси, соли в виде кристаллов в нефти и растворенные в воде, а также попутные газы. При дальнейшей транспортировки на пункты подготовки нефти происходит зарастание сечения трубопровода солями и парафинами. Также при транспортировке при помощи центробежных насосов образуются устойчивые водонефтяные эмульсии.

Традиционно и часто используемое оборудование для подготовки нефти отличается большими габаритами с высокой металлоемкостью, и низкой интенсивностью. Все это приводит к большим капитальным и эксплуатационным расходам.

В данном докладе предлагается вариант пилотной установки с использованием интенсивного оборудования способным решать в комплексе возникающие проблемы.

При наличии в скважинной продукции попутного газа на первом этапе предлагается производить, подогрев ее до требуемой температуры при которой происходит полное растворение парафинов и большая часть солей в водной фазе этой скважинной продукции.

Энергию на обогрев смеси предложено брать из энергии дымовых газов (или пара), которые могут быть получены при сжигании части попутных газов. Для выхода на рабочий режим предложено иметь небольшой запас попутного газа, полученного из скважин данного месторождения.

Следующий этап состоит в гидроциклонировании подогретой скважинной продукции с разделением смеси на твердую фазу, воду с растворенными солями, легкую фазу, содержащую в основном нефтепродукты и попутный газ [1]. Для этих целей должны быть использованы конструкции четырехпродуктовых гидроциклонов.

Отделенную воду с растворенными солями можно дополнительно подвергнуть второй стадии гидроциклонирования и продукт содержащий очень незначительную часть нефтепродуктов использовать для закачки в пласт для лучшей нефтеотдачи.

Гидроциклонный поток первой стадии, содержащий преимущественно нефтепродукты с небольшим содержанием воды и солями далее подвергать промывкой чистой водой с последующим центрифугированием. Эту стадию смешивания с водой и центрифугирование предлагается проводить в комплексном агрегате, совмещающим элементы мешалки и отстойную центрифугу [2]. В зону смешения подавать деэмульсатор. В данном аппарате также есть возможность проводить дополнительный подогрев компонентов паром через рубашку на корпусе.

В данном агрегате при центрифугировании поток делить на три потока по плотности: воду с растворенными солями, нефтепродукты с легкими и тяжелыми компонентами. Легкие компоненты направлять в буферную емкость для частичной рециркуляции с подачей обратно в агрегат для перемешивания с вновь поступающими нефтепродуктами. Целью рециркуляции является ускорение разрушения при перемешивании бронирующих оболочек водонефтяной эмульсии и экономия деэмульсатора.

После центрифугирования тяжелую часть нефтепродуктов подвергать окончательной стадии подготовки и дальнейшей транспортировки на нефтеперерабатывающий завод.

Для осуществления интенсификации подготовки скважинной продукции предполагается спроектировать пилотную установку и детально просчитать все материальные и энергетические потоки.

В качестве нагнетательного оборудования для жидкой фазы в промежутке между аппаратами предлагается использовать дисковые насосы, осуществляющие перекачку без интенсивного перемешивания.

Рециркуляцию легкой фазы нефтепродуктов из центробежного агрегата есть возможность осуществлять без дополнительного насоса, как было показано в работе [2].

Прочностные расчеты для элементов имеющих сложно-напряженное состояние на ряду со стандартными методиками будут проверяться с использованием численных методов [3].

### Источники

1. 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.

2. Лаптев С.А. Исследование узла регенерации отработанного масла с агрегатом для комбинирования различных стадий и методов очистки // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2022 (МНТК "ИМТОМ - 2022"): Материалы XI-й Международной научно-технической конференции, Казань, 08 декабря 2022 года. Том Часть 2. – Казань: Акционерное общество "Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий", 2022. – С. 196-198.

3. Клейдман М.Д., Клейдман О.В. Анализ влияния ползучести на напряжённо-деформированное состояние необогреваемогогиба стационарного трубопровода с помощью ANSYS // Энергетика и автоматизация в современном обществе: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции обучающихся и преподавателей, Санкт-Петербург, 11 мая 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2023. – С. 89-94.

УДК 62.135

## МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЛОПАТОК ТУРБОМАШИН ПРИ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЯХ

Хафизов Гайсар Исмагилович<sup>1</sup>, Клейдман Ольга Владимировна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Хакимуллина Лариса Шарифовна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>g.a.i.s.a.r.k.a.2004@gmail.com, <sup>2</sup>olgakdpm@mail.ru

В работе рассмотрены основные способы повышения вибрационной надёжности лопаток при вынужденных колебаниях.

**Ключевые слова:** лопатки турбин, напряжения, вибрационная надёжность, собственная частота колебаний, резонанс.

# METHODS FOR INCREASING THE DURABILITY OF TURBOMACHINE BLADES DURING FORCED VIBRATIONS

Khafizov Gaisar I<sup>1</sup>, Kleidman Olga V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Khakimulina Larisa Sh.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>g.a.i.s.a.r.k.a.2004@gmail.com, <sup>2</sup>olgakdpm@mail.ru

The paper discusses the main ways to increase the vibration reliability of blades during forced vibrations.

**Keywords:** turbine blades, stress, vibration reliability, natural frequency, resonance.

Тема вибрационной надежности лопаток турбомашин является крайне актуальной и важной в современном машиностроении [1,2,3].

Цель работы – анализ методов снижения вибрационных напряжений, определения собственных частот с отстройкой от резонанса на рабочей частоте вращения.

В корневом сечении пакетированной лопатки постоянного профиля при резонансе напряжение [4]:

$$\sigma = (2\pi / \eta) C_m x_k \sigma_{ст}, \quad (1)$$

которое зависит от: статического напряжения изгиба в корневом сечении лопатки без бандажа; отношения амплитуды гармоники возмущения к аэродинамической рабочей нагрузке; логарифмического декремента колебаний. Выражение (1) помогает провести анализ способов повышения вибрационной надёжности лопаток турбин.

Повышение точности изготовления деталей способствует уменьшению разброса частот пакетов лопаток, что улучшает отстройку от резонанса и позволяет увеличить интервалы между рабочей и резонансными частотами [5,6], особенно при низких частотах колебаний лопаток.

Использование бандажей и проволок понижает динамические напряжения за счет эффекта пакетирования. Уменьшение разброса частот способствует уменьшению пакетного множителя, что благоприятно влияет на работу системы. Использование демпферных связей способствует увеличению суммарного логарифмического декремента, от которого зависят динамические напряжения. Применение специальных демпферных бандажей и проволок позволяет существенно снизить динамические напряжения.

Допускаемые напряжения на статический изгиб  $\sigma_{и.д}$  выбирают небольшие, например для ступеней: активных с полным подводом пара  $\sigma_{и.д} \leq 30 - 35$  МПа; реактивных с полным подводом пара из-за малого кромочного возбуждения  $\sigma_{и.д} \leq 70 - 100$  МПа; с парциальным подводом пара  $\sigma_{и.д} \leq 10 - 15$  МПа.

Уменьшение сил возмущения можно достичь усовершенствованием сопловых венцов, стыков диафрагм, отборных и выходных патрубков.

Возможность дроссельного парораспределения и изменение давления пропускаемого пара позволяет снизить колебания системы путем уменьшения сил возмущения, которые выше на ограниченных ступенях, чем на ступени с полным подачей пара.

Применение рабочих лопаток с минимальной частотой  $f_d > (6 - 8)n$ , чем выше низшая собственная частота, тем меньше интенсивность гармоник возмущающих сил и опасность колебаний.

Вибрационная надёжность тем выше, чем выше конструкционный предел усталости. Для этого лопатки и замковые соединения нужно проектировать с возможно меньшими концентраторами напряжений [5, 6] в областях повышенных напряжений.

Метод размещения диафрагм с разным шагом сопловой решетки по окружности. Изменение частоты импульсов, действующих на лопатки, при их прохождении мимо сопл с различным шагом решетки, исключает резонансные эффекты.

Указанные методы уменьшают риск вибраций и гарантируют надежность лопаток при проектировании турбомашин.

### Источники

1. Лаптев, С. А. Анализ возможных структур вихревого газожидкостного потока в аппарате и получение обобщенных зависимостей // Математ. методы в технике и технологиях - ММТТ. 2020. Т. 12-2. С. 132-139.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Титов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Альтернативная энергетика и экология: Междунар. науч. журнал. – 2023. – № 1(406). – С. 23-35.

3. Новоселова М. С. Оценка эксплуатационных характеристик ГТУ типа НК-16-18 ст // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая

трансформация": матер. Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2023. Том 2.– С. 730-733.

4. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин: учебник / Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. - 472 с.

5. Клейдман О.В., Клейдман М.Д. Анализ свободных и вынужденных колебаний сосудов и баллонов высокого давления из композитных материалов на основе МКЭ. // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2022 (МНТК "ИМТОМ - 2022"): матер. XI Междунар. науч.-техн. конф. Казань, 2022. Том 2. С. 189-191.

6. Минеева В. Д. Анализ свободных и вынужденных колебаний подогревателя высокого давления в зависимости от свойств материала на основе ANSYS // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация": матер. Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2023. Том 2. С. 707-710.

УДК 622.692.4.07

## ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ ВОДОРОДА

Хисамутдинов Малик Рустемович<sup>1</sup>, Клейн Евгений Васильевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалева Гузель Рашидовна<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nano300053v2@gmail.com, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru, <sup>3</sup>mingaleeva-gr@mail.ru

В данной статье рассматривается вопрос использования трубопроводного транспорта для транспортировки водорода. Обсуждается история развития водородной логистики, а также актуальные и потенциальные применения водородных трубопроводов. Авторы анализируют технологические аспекты, связанные с хранением, транспортировкой и безопасностью водорода, а также проблемы и перспективы развития водородного трубопроводного транспорта.

**Ключевые слова:** водородное топливо, трубопроводный транспорт, логистика.

## PIPELINE TRANSPORT OF HYDROGEN

Khislamutdinov Malik R.<sup>1</sup>, Klein Evgeny V.<sup>2</sup>

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Russia

<sup>1</sup>nano300053v2@gmail.com, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru, <sup>3</sup>mingaleeva-gr@mail.ru

This article discusses the use of pipeline transport for the transportation of hydrogen. The history of the development of hydrogen logistics, as well as current and potential applications of hydrogen pipelines are discussed. The authors analyze the technological aspects related to the storage, transportation and safety of hydrogen, as well as the problems and prospects for the development of hydrogen pipeline transport.

**Keywords:** hydrogen fuel, pipeline transport, logistics.

Водород является одним из наиболее перспективных энергоносителей, который может обеспечить устойчивое и экологически чистое энергоснабжение. В последние годы активно развивается возможность использования водорода в различных отраслях экономики, включая транспорт, промышленность, а также в качестве альтернативного топлива для энергетических систем. Одним из основных способов транспортировки водорода является трубопроводный транспорт, позволяющий существенно снизить затраты на транспортировку и обеспечить его непрерывную доставку на большие расстояния [1].

Есть несколько способов транспортировки газообразного водорода по трубам:

1. через специализированные водородные трубопроводы;
2. через уже существующие газовые трубы [2].

Транспортные трубы имеют несколько преимуществ перед другими методами транспортировки, включая автомобильный и железнодорожный транспорт. Во-первых, это высокая пропускная способность и возможность доставки больших объемов водорода на дальние расстояния. Во-вторых, это низкие издержки на строительство и эксплуатацию трубопроводов по сравнению с другими видами транспорта. В-третьих, это безопасность и экологичность транспортировки, так как водород транспортируется в виде сжатого газа или жидкости, что исключает возможность утечки и загрязнения окружающей среды. Это обеспечивает гибкость и надежность поставок водорода, что особенно важно для промышленных предприятий, которые могут использовать водород в качестве сырья или топлива [3].

Однако развитие инфраструктуры трубопроводного транспорта водорода сталкивается с определенными вызовами и проблемами. Во-первых, строительство и эксплуатация трубопроводов требует значительных инвестиций. Во-вторых, необходимо обеспечить безопасность транспортировки водорода, учитывая его взрывоопасность и способность вступать в реакции с различными материалами. В-третьих, актуальной остается проблема разработки технологий хранения и транспортировки жидкого водорода при низких температурах.

Также стоит упомянуть вопрос безопасности транспортировки водорода. Водород является взрывоопасным газом, и его транспортировка требует соблюдения строгих правил безопасности. Кроме того, водород может вступать в реакцию с некоторыми материалами, что может привести к коррозии труб и другим проблемам. Одна из таких проблем – вступление водорода в соединения с материалом трубопровода, что приводит к потерям топлива до его прибытия к конечному потребителю.

Возможным решением данной проблемы является покрытие внутренней поверхности всего трубопровода керамикой, стеклом или политетрафторэтиленом, а также использование гидридов металлов и интерметаллических соединений [4].

Итак, транспортировка водорода с помощью трубопроводов представляет собой многообещающую область для развития энергетической и транспортной сферы. Однако для его успешного развития необходимо решить ряд проблем, связанных с отсутствием инфраструктуры, обеспечением безопасности и коррозионной стойкости трубопроводов. Решение этих проблем может способствовать более широкому использованию водорода в качестве экологически чистого и надежного энергоносителя [5].

### Источники

1. Соловьев, Д.А. Направления развития водородных энергетических технологий / Д. А. Соловьев // Энергетическая политика. – 2020. – № 3(145). – С. 64-71. – DOI 10.46920/2409-5516\_2020\_3145\_64. –
2. Алексеева О.К., Козлов С.И., Фатеев В.Н. Транспортировка водорода // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. №3 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transportirovka-vodoroda>
3. Хисамутдинов М.Р. Использование водорода на тепловой электростанции / Хисамутдинов М.Р., Клейн Е.В. // Материалы докладов XXVII Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного дню энергетика и 55-летию КГЭУ / Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т. 2. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2023. – с. 330—333.
4. Шпильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г. Введение в водородную энергетику / Под ред. В.А. Легасова. — М. : Энергоатомиздат, 1984. — 264 с. : ил. — Библиогр.: с. 256—264 (158 назв.).
5. Марьин, Г.Е. Перспективы применения водорода в энергетике / Г.Е. Марьин, Ю.В. Сопина // 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.

УДК 620.98

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ЗАИНСКОЙ ГРЭС

Чалкин Даниил Викторович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

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

chalkin\_02@mail.ru

В работе представлен анализ модернизации Заинской ГРЭС. Причины модернизации.

**Ключевые слова:** Заинская ГРЭС, электростанция, энергетика, турбина, энергоблоки, санкции.

## MODERNIZATION OF ZAINSKAYA GRES

Chalkin Daniil V.

Scientific advisor Maslov Igor N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

chalkin\_02@mail.ru

The paper presents an analysis of the modernization of the Zainskaya GRES. Reasons for modernization.

**Keywords:** Zainskaya GRES, power plant, power engineering, turbine, power units, sanctions.

Заинская ГРЭС, крупнейший производитель электричества в республике, сейчас вырабатывает 26% от общей генерации в Татарстане. Эта станция была построена в 1963 году, ее максимально установленная мощность 110 Гкал/ч тепла и 2400 МВт электроэнергии. О модернизации Заинской ГРЭС говорят уже очень давно, ведь несмотря на постоянные точечные капитальные ремонты всех 12 блоков, она технически устарела еще в прошлом веке. Станцию планируют модернизировать, заменив

энергоблоки позапрошлого поколения на две современные парогазовые установки, которые должны увеличить КПД станции с 34% до 64%. При этом загрузка вырастет с 35% до 85%, а выработка – на 70% до 12 млрд киловатт-часов.

Газотурбинная установка представляет собой универсальное модульное устройство, которое объединяет в себе: электрогенератор, редуктор, газовую турбину и блок управления [1-3].

Контракт стоимостью 37,5 млрд рублей достался турецкой компании «ЭНКА». Проект был бы осуществлен на базе оборудования американской компании General Electric, которая поставит самую мощную и эффективную газовую турбину в линейке корпорации, а также паровую турбину, паровой котел-утилизатор и генераторы.

Проект заморозили по причине отказа General Electric в поставке сверхмощной турбины (571 МВт), которая должна была заменить старые турбины и значительно увеличить выработку энергии.

Сейчас изучается вопрос замены на другую энергоустановку, конечно, не подобную турбине General Electric, с меньшей мощностью. Такая установка, которой позволит сохранить этот энергетический уровень. Главным образом, изучают отечественные технологии и те, что есть в дружественных странах. Анализируют, насколько крупные газовые машины они смогут нам предложить. Такие станы, как, например, Китай или Индия. Там, конечно, такое оборудование делают по лицензиям. Если же нельзя будет приобрести турбины, с очень большой мощностью, то можно строить и дубль-блоки. То есть ставить две газовые турбины меньшей мощности и одну паровую. И составить суммарную мощность из нескольких турбин.

На сегодняшний день на Заинской ГРЭС необходимо менять порядка 800 МВт. То есть в ближайшие годы вывести из эксплуатации четыре энергоблока. Парковый ресурс двух машин уже приближается к 400 тыс. часам. Они вводились первыми, еще в начале 1960-х. Это отечественные машины, им легко можно найти аналоги. ГРЭС ни в коем случае закрывать нельзя - это чревато тяжелыми последствиями как для экономики, так и для социальной сферы.

Подводя итог, можно утверждать, что от планов по модернизации ГРЭС в компании не отказываются, хоть пока непонятно как именно и на каком оборудовании это будет происходить. Но как бы то ни было, уже в ближайшие годы часть работающих турбин свой ресурс исчерпают, поэтому на решение этой проблемы осталось не так много времени. А закрытие такого важного объекта невозможно. Ведь это станет серьезным

ударом для всей энергосистемы республики Татарстан. Не обрадуются этому и потребители электроэнергии, так как это прямоком увеличит ее стоимость.

### **Источники**

1. 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.

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.

3. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

УДК 621.311

## **СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Чалкин Даниил Викторович<sup>1</sup>, Дворнова Елизавета Александровна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>jekeroner@gmail.com, <sup>2</sup>dvornova.liza@mail.ru

В статье рассматриваются, набирающие тенденцию, возобновляемые виды энергии и оборудования для переработки этой энергии.

**Ключевые слова:** оборудование, энергия, возобновляемая.

## **A MODERN APPROACH TO THE SELECTION OF ENERGY EQUIPMENT**

Chalkin Daniil V.<sup>1</sup>, Dvornova Elizaveta A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>jekeroner@gmail.com, <sup>2</sup>dvornova.liza@mail.ru

The article discusses renewable types of energy and equipment for processing this energy, which are gaining momentum.

**Keywords:** equipment, energy, renewable.

В нынешнее время, в условиях изменения климатической ситуации и все интенсивнее растущих потребностях в энергии, выбор энергетического оборудования становится более важным и ответственным. Одним из главных факторов, влияющих на выбор, является не только экономическая эффективность [1-3].

Одним из современных направлений в выборе энергетического оборудования является использование возобновляемых источников энергии, за счет их экологичности и неистрачиваемого ресурса. Возобновляемые источники энергии, такие как солнечная энергия, ветер, гидроэнергия и биомасса, представляют собой экологически чистые и устойчивые источники энергии, которые не истощаются и мало влияют на окружающую среду.

Солнечная энергия является одним из самых популярных источников возобновляемой энергии. Солнечные батареи или фотоэлектрические панели могут преобразовывать солнечную энергию в электричество. Они могут быть установлены как на крышах зданий, так и на открытых площадках. Солнечные батареи предлагают энергию для освещения, обогрева воды и даже для подзарядки электромобилей. Они являются не только экологически чистыми, но и экономически эффективными в долгосрочной перспективе.

Ветряные электростанции также являются перспективными вариантами для производства электроэнергии из возобновляемых источников. Ветряные турбины устанавливаются на открытых пространствах с сильным ветром. Они преобразуют кинетическую энергию ветра в электрическую энергию. Преимуществом ветровой энергии является ее постоянная доступность и низкая стоимость производства.

Также, возможность использования гидроэнергии является значительным плюсом при выборе энергетического оборудования. Гидроэлектростанции используют потоки воды для преобразования их в электрическую энергию. Они могут быть построены как на реках, так и на морском побережье. Гидроэнергия является стабильным и надежным источником энергии.

Биомасса – это еще один вид возобновляемой энергии, который больше не рассматривается как отходы сельского и лесного хозяйства, а

как ценный источник энергии. Биомасса может быть использована для производства электроэнергии, тепла и топлива. Преимущества биомассы заключаются в ее широком спектре использования и низкой стоимости, поскольку она может быть получена из различных источников.

Выбор энергетического оборудования основывается на возврате инвестиций и экономических выгодах [4-6]. Постепенное использование возобновляемых источников энергии помогает снизить выбросы парниковых газов и смягчить изменение климата. Использование солнечной, ветровой, гидроэнергии и биомассы – это новые и инновационные способы производства и использования энергии, с помощью которых можно добиться экологической устойчивости и более устойчивого будущего для нашей планеты.

### **Источники**

1. 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.

2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.

4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГТУ

Шайнуров Рамиль Дамирович<sup>1</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>heromilka003@gmail.com, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

В данной статье рассматривается вопрос повышения энергетических характеристик газотурбинных установок (ГТУ). Обсуждаются основные факторы, влияющие на эффективность и производительность ГТУ, такие как температура газа перед турбиной, степень повышения давления, термодинамические процессы и материалы. Анализируются различные методы повышения энергетических характеристик. Также рассматриваются перспективы развития технологий ГТУ и возможности дальнейшего повышения их энергетических характеристик.

**Ключевые слова:** развитие, установка, эффективность, турбина, газ, оптимизация, материалы, технология.

## THE USE OF HYDROGEN AS A FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF THE ENERGY INDUSTRY

Shainurov Ramil D.

Scientific advisor Maslov Igor N.<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>heromilka003@gmail.com, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

This article discusses the issue of increasing the energy characteristics of gas turbine units. The main factors influencing the efficiency and performance of gas turbine plants, such as gas temperature before the turbine, pressure ratio, thermodynamic processes and materials, are discussed. Various methods for improving energy performance are analyzed. The prospects for the development of gas turbine technologies and the possibility of further improving their energy characteristics are also considered.

**Keywords:** development, installation, efficiency, turbine, gas, optimization, materials, technology.

Газотурбинные установки (ГТУ) являются одним из наиболее распространенных и эффективных способов преобразования топлива в полезную энергию. Они применяются в различных отраслях

промышленности, таких как энергетика, авиация, морской транспорт и другие. Постоянное стремление к повышению энергетических характеристик газотурбинных установок стимулирует развитие новых технологий и методов, направленных на увеличение их производительности и эффективности [1-3].

Одним из основных путей повышения энергетических характеристик ГТУ является увеличение температуры газа на входе в турбину. Чем выше температура горячих газов, тем больше тепловая мощность, которую установки может производить. Однако, повышение температуры также может привести к повышению износа элементов турбины и уменьшению ее срока службы. Поэтому для повышения температуры газа требуется использование современных материалов с высокими теплостойкостью и улучшенными теплоизолирующими покрытиями [4-6].

Важным направлением развития газотурбинных установок также является увеличение автоматизации и управляемости процесса работы установки. С использованием современных систем управления и мониторинга возможно оптимизировать режим работы ГТУ, уменьшить износ элементов и повысить надежность эксплуатации [3-5].

Кроме того, в последние годы активно развиваются газотурбинные установки с сухим охлаждением, которые позволяют снизить потери тепла и повысить эффективность работы установки. Также разрабатываются схемы с прохождением газа через множество ступеней сжатия и расширения, что позволяет повысить КПД за счет улучшения аэродинамики потока газа. Это позволяет увеличить степень сжатия газа и, следовательно, повысить КПД двигателя. Однако, увеличение сжатия требует более мощных компрессоров, что может увеличить массу установки и уменьшить ее эффективность [1-4].

С другой стороны, улучшение газодинамических характеристик турбины также способствует повышению энергетической эффективности ГТУ. Это может быть достигнуто путем улучшения конструкции лопаток турбины, оптимизации процесса охлаждения и улучшения аэродинамических характеристик [2-4].

Таким образом, повышение энергетических характеристик газотурбинных установок осуществляется через увеличение температуры горячих газов, увеличение степени сжатия воздуха, улучшение газодинамических характеристик турбины и использование современных материалов и технологий. Все это позволяет повысить эффективность и производительность ГТУ, что является важным направлением в развитии современных энергетических систем.

Постоянное совершенствование технологий и методов работы газотурбинных установок позволяет повышать их эффективность, производительность и надежность. Это делает ГТУ важным элементом в системах энергоснабжения различных отраслей промышленности и транспорта, и способствует сокращению потребления топлива и снижению вредных выбросов в атмосферу [1-3].

### **Источники**

1. 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.

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.

3. 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.

4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846.

5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

6. 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.



## ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТУРБОМАШИН

Шайнуров Рамиль Дамирович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>heromilka003@gmail.com, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

В данной статье рассматривается применение автоматизированной системы газодинамических расчетов для анализа и оптимизации энергетических турбомашин. Автоматизированные системы расчетов предоставляют возможность моделирования сложных газодинамических процессов, происходящих внутри турбомашин, с высокой степенью точности и в короткие сроки. Основное внимание уделяется описанию основных принципов работы автоматизированных систем газодинамического моделирования и их применению в проектировании и оптимизации турбомашин.

**Ключевые слова:** автоматизированные системы, моделировать, развитие, турбомашин, установка, эффективность, турбина, газ, оптимизация, материалы, технология.

## APPLICATION OF THE AUTOMATED SYSTEM OF GAS DYNAMIC CALCULATIONS OF POWER TURBOMACHINES

Shainurov Ramil D.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>heromilka003@gmail.com, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

This article discusses the use of an automated gas-dynamic calculation system for the analysis and optimization of power turbomachines. Automated calculation systems provide the ability to simulate complex gas-dynamic processes occurring inside turbomachines with a high degree of accuracy and in a short time. The main attention is paid to the description of the basic principles of operation of automated gas-dynamic modeling systems and their application in the design and optimization of turbomachines.

**Keywords:** automated systems, model, development, turbomachines, installation, efficiency, turbine, gas, optimization, materials, technology.

Современные технологии промышленного производства требуют все более точных и быстрых расчетов для оптимизации работы оборудования. В частности, в энергетической отрасли широко используются турбомашин – устройства, преобразующие энергию газа или пара в механическую энергию. Для эффективной работы таких устройств необходимы точные расчеты газодинамических процессов, происходящих в них.

С целью повышения точности и скорости проведения расчетов в настоящее время широко применяются автоматизированные системы газодинамических расчетов. Эти системы позволяют проводить оценку работы турбомашин более эффективно и точно, учитывая множество различных параметров и условий.

Одним из ключевых преимуществ использования автоматизированных систем является возможность сокращения времени на проведение расчетов [1-3]. Там, где раньше требовались часы или даже дни для расчета работы турбомашин, с помощью автоматизированных систем этот процесс можно сделать всего за несколько минут. Это позволяет инженерам быстрее принимать решения и оптимизировать работу оборудования.

Автоматизированные системы газодинамических расчетов энергетических турбомашин представляют собой программное обеспечение, разработанное для проведения сложных расчетов процессов, происходящих в турбомашин [4-6].

Для работы с такими системами специалисту необходимо иметь знания в области газодинамики, теплообмена и механики жидкостей.

Программное обеспечение позволяет моделировать течение газа и жидкости через лопатки, сопловые устройства, камеры сгорания и другие элементы турбомашин. Системы также учитывают различные факторы, такие как тепловые потери, трение и другие внешние воздействия.

Результаты расчетов позволяют оптимизировать дизайн турбомашин, повысить их эффективность и надежность, а также сэкономить время и ресурсы на тестирование физических прототипов. В итоге, использование автоматизированных систем газодинамических расчетов позволяет создавать более совершенные и эффективные турбомашин.

Кроме того, использование автоматизированных систем позволяет снизить вероятность ошибок в расчетах. Системы могут проводить сложные математические операции и анализировать большой объем данных, что значительно увеличивает точность полученных результатов.

Это особенно важно при проектировании новых турбомашин или оптимизации работы уже существующих.

Таким образом, применение автоматизированных систем газодинамических расчетов является необходимым шагом в развитии энергетической отрасли. Благодаря этим системам инженеры получают возможность быстрее и точнее проводить расчеты, что способствует повышению эффективности работы турбомашин и снижению затрат на производство.

### **Источники**

1. 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.

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.

3. 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.

4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846.

5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

6. 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.

УДК 621.311

## АКТУАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Шакуров Фаиль Фиргатович<sup>1</sup>, Шарипов Тимур Ильшатovich<sup>2</sup>,  
Валиуллин Артур Андреевич<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>fail.shakurov@list.ru, <sup>2</sup>timurka\_sharipov\_2004@mail.ru, <sup>3</sup>valiullin.art2017@gmail.com

Электрические нагрузки домов являются основой при выборе электрических сетей и подстанций систем электроснабжения городов и областей. В связи с чем в этой статье мы рассмотрим актуализацию электрических нагрузок, а для более конкретного ответа, приведем в пример Московскую область.

**Ключевые слова:** энергетические характеристики, энергоэффективность, генерирующее оборудование, изолированный район, энергоснабжение.

## ACTUALIZATION OF ELECTRICAL LOADS ON THE EXAMPLE OF THE MOSCOW REGION

<sup>1</sup>Shakurov Fail F., <sup>2</sup>Sharipov Timur I., <sup>3</sup>Valiullin Artur A.

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>fail.shakurov@list.ru, <sup>2</sup>timurka\_sharipov\_2004@mail.ru, <sup>3</sup>valiullin.art2017@gmail.com

The electrical loads of houses are the basis for choosing electrical networks and substations of power supply systems in cities and regions. In this regard, in this article we will consider the actualization of electrical loads, and for a more specific answer, we will give the example of the Moscow region.

**Keywords:** energy characteristics, energy efficiency, generating equipment, isolated area, energy supply.

Актуализация электрических нагрузок является одной из важнейших задач в современной электротехнике [1-3]. Это процесс, который направлен на оптимизацию использования электроэнергии и снижение

нагрузки на электрическую сеть. Одной из основных причин, по которой актуализация электрических нагрузок является актуальной, является растущая потребность в электроэнергии. С каждым годом все больше и больше устройств и технологий требуют электричества для своей работы. Это включает в себя не только бытовые приборы, но и промышленное оборудование, транспортные средства, освещение и многое другое. Поэтому оптимизация использования электроэнергии становится важной задачей для обеспечения надежности и эффективности электроэнергетической системы [4-6].

Одним из методов актуализации электрических нагрузок является установка интеллектуальных систем управления в электрической сети. Эти системы способны мониторить и анализировать данные о распределении электрической нагрузки, а также прогнозировать ее изменения в будущем. На основе этих данных система может оптимизировать работу электроустановок и устройств, перераспределяя нагрузку и используя энергию более эффективно. Это позволяет снизить избыточные затраты электроэнергии, улучшить работу системы и повысить ее надежность. Кроме того, актуализация электрических нагрузок также включает в себя учет и управление пиковыми нагрузками. В определенные временные интервалы спрос на электричество может значительно возрастать, что приводит к резкому увеличению нагрузки на сеть. Это может привести к перегрузкам и снижению эффективности работы системы. Путем актуализации пиковых нагрузок можно равномерно распределить электрическую нагрузку, предотвращая перегрузку системы и снижая риск возникновения аварийных ситуаций.

В целом, актуализация электрических нагрузок является важным элементом современной электротехники. Она позволяет оптимизировать использование электроэнергии, снижая избыточные затраты и обеспечивая более эффективную и надежную работу электрической системы. Использование интеллектуальных систем управления и актуализация пиковых нагрузок играют ключевую роль в достижении этих результатов [1-6].

Актуализация электрических нагрузок в Московской области является важным аспектом в энергетической инфраструктуре региона. Московская область один из крупнейших и наиболее развитых регионов России, который имеет значительные потребности в энергии для обеспечения жильцов, предприятий и инфраструктуры. Основными источниками электрической энергии для Московской области являются электростанции, расположенные как в самой области, так и за ее

пределами. В настоящее время основные источники энергии в области это атомные и газовые электростанции, которые обеспечивают большую часть потребностей в электричестве.

С увеличением населения и развитием экономики в Московской области наблюдается постоянный рост спроса на энергию. Это вызывает необходимость в постоянной актуализации и анализе электрических нагрузок, чтобы обеспечить стабильное и эффективное функционирование энергетической системы.

Для актуализации электрических нагрузок в Московской области применяются специальные методы и инструменты. Один из ключевых методов это прогнозирование нагрузок на основе исторических данных и анализе тенденций развития региона.

Для оптимизации распределения энергии и снижения нагрузок на существующие сети в Московской области используются различные технологии энергосбережения и управления нагрузками. Применение smart-технологий, установка счетчиков умного потребления энергии, солнечных батарей и других систем позволяет эффективно управлять нагрузками и избегать перегрузок сетей.

В рамках актуализации электрических нагрузок в Московской области важно также учитывать сезонные и временные колебания в потреблении энергии. Например, утренний и вечерний пик потребления электроэнергии могут существенно различаться, что требует гибкости и адаптивности системы энергоснабжения [2].

Таким образом, актуализация электрических нагрузок в Московской области играет ключевую роль в обеспечении стабильного и надежного энергоснабжения региона. Применение современных методов и технологий позволяет эффективно управлять потреблением энергии, снижать нагрузки на существующие сети и обеспечивать устойчивое функционирование электроэнергетической системы.

## **Источники**

1. 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.

2. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и 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.

4. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

5. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

УДК 621.438

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГТУ В АС ГРЭТ

Шакуров Фаиль Фиргатович<sup>1</sup>, Шарипов Тимур Ильшатovich<sup>2</sup>,  
Валиуллин Артур Андреевич<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Маслов Игорь Николаевич  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>fail.shakurov@list.ru, <sup>2</sup>timurka\_sharipov\_2004@mail.ru, <sup>3</sup>valiullin.art2017@gmail.com

Современные газотурбинные установки (ГТУ) относятся к числу сложнейших технических объектов. В этой статье рассматриваются преимущества газотурбинных установок. Исследуется моделирование газотурбинных установок в автоматизированных системах газотурбостроения (АС ГРЭТ).

**Ключевые слова:** ГТУ, имитационное моделирование, газотурбостроение, автоматизация, компьютерное моделирование.

## MODELING OF GTU IN AS GRET

Shakurov Fail F.<sup>1</sup>, Sharipov Timur I.<sup>2</sup>, Valiullin Artur A.<sup>3</sup>

Scientific advisor Maslov Igor N.

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>fail.shakurov@list.ru, <sup>2</sup>timurka\_sharipov\_2004@mail.ru, <sup>3</sup>valiullin.art2017@gmail.com

Modern gas turbine installations (GTU) are among the most complex technical facilities. This article discusses the advantages of gas turbine installations. The modeling of gas turbine installations in automated gas turbine engineering systems (AS GRET) is investigated.

**Keywords:** GTU, simulation modeling, gas turbine engineering, automation, computer modeling.

Газотурбинные установки являются одной из самых важных и широко распространенных технологий в сфере энергетики. Принцип действия газотурбинных установок основан на использовании газа или жидкости, обычно называемых рабочими средами, для вращения вала генератора или привода турбины. Рабочая среда входит в установку через компрессор, где ее давление увеличивается, а затем поступает в камеру сгорания, где смешивается с топливом и воспламеняется. При сгорании выделяется большое количество энергии, которая превращается в механическую энергию вращения вала газотурбинной установки [1-3]. Главным преимуществом газотурбинных установок является их высокая эффективность и производительность. Их компактность и надежность позволяют использовать их в различных условиях, включая удаленные районы или платформы на море. Газотурбинные установки также являются экологически чистыми и удобными в эксплуатации. Они не требуют применения большого количества воды для охлаждения, как это необходимо в случае с паровыми турбинами. Кроме того, они имеют возможность быстрого пуска и остановки, что позволяет оперативно реагировать на изменения нагрузки или необходимости обслуживания. Так, газотурбинные установки играют важную роль в современной энергетике и промышленности. Их преимущества включают высокую эффективность, гибкость в работе и экологическую безопасность, что делает их незаменимыми инструментами для обеспечения стабильного энергоснабжения и развития индустрии. Моделирование газотурбинных установок (ГТУ) в автоматизированных системах газотурбостроения (АС ГРЭТ) представляет собой сложный и многогранный процесс. ГТУ –



это передовые технические системы, предназначенные для получения механической или электрической энергии путем преобразования энергии горячих газов, выделяемых при сжигании топлива [3-5]. АС ГРЭТ, в свою очередь, является высокотехнологичной системой автоматизации, предназначенной для эффективного управления и контроля ГТУ. Она включает в себя различные программные и аппаратные средства, позволяющие проводить комплексные исследования и моделирование работы газотурбинных установок. Для успешного моделирования ГТУ в АС ГРЭТ используются различные подходы и методы, такие как математическое моделирование, компьютерное моделирование и имитационное моделирование. Каждый из них имеет свои преимущества и позволяет более детально и точно изучить различные аспекты работы газотурбинных установок. Математическое моделирование ГТУ в АС ГРЭТ основывается на использовании уравнений и физических законов, описывающих процессы газодинамики, теплообмена, сгорания и другие важные аспекты. Это позволяет проводить расчеты и предсказывать параметры и характеристики работы ГТУ в разных режимах и условиях. Компьютерное моделирование, в свою очередь, представляет собой создание виртуальной модели ГТУ, которая позволяет проводить различные эксперименты и исследования по изменению различных параметров и условий работы. С помощью компьютерных программ и специализированных алгоритмов можно получить большое количество данных о работе ГТУ и сделать выводы о ее эффективности и оптимальности. Имитационное моделирование ГТУ в АС ГРЭТ является одним из самых точных и реалистичных методов. Оно имитирует работу газотурбинной установки в реальном времени, учитывая все возможные физические и технические факторы. Имитационное моделирование позволяет проводить различные испытания и анализировать их результаты для оптимизации работы ГТУ [2-4]. Таким образом, моделирование ГТУ в АС ГРЭТ – это сложный и ответственный процесс, требующий обширных знаний и опыта в области газотурбостроения и автоматизации. Только с помощью такого моделирования можно достичь максимальной эффективности и надежности работы газотурбинных установок и обеспечить высокое качество производства энергии.

#### **Источники**

1. 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.

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.

3. 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.

4. Гумеров И.Р., Тухватулина Д.Р., Титов А.В. Существующие проблемы переработки и утилизации твердых бытовых отходов населения // Аллея науки. 2017. Т. 5. № 16. С. 843-846.

5. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.

УДК 620.95

## ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ТОПЛИВУ ИЗ БИОМАССЫ ДЛЯ СЖИГАНИЯ НА ТЭС

Шарипов Тимур Ильшатovich<sup>1</sup>, Шакуров Фаиль Фиргатович<sup>2</sup>,  
Валиуллин Артур Андреевич<sup>3</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>timurka\_sharipov\_2004@mail.ru, <sup>2</sup>fail.shakurov@list.ru, <sup>3</sup>valiullin.art2017@gmail.com

В докладе рассматриваются современные способы сжигания биологического топлива на ТЭС с целью повышения эффективности получения теплоты и электроэнергии.

**Ключевые слова:** тепловая электрическая станция, биомасса, энергия, КПД.

## AN OVERVIEW OF MODERN APPROACHES TO BIOMASS FUELS FOR COMBUSTION AT THERMAL POWER PLANTS

Sharipov Timur I.<sup>1</sup>, Shakurov Fanil F.<sup>2</sup>, Valiullin Artur A.<sup>3</sup>

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>timurka\_sharipov\_2004@mail.ru, <sup>2</sup>fail.shakurov@list.ru,

<sup>3</sup>valiullin.art2017@gmail.com

The report examines modern methods of burning biological fuels at thermal power plants in order to increase the efficiency of heat and electricity generation.

**Keywords:** thermal power plant, biomass, energy, efficiency.

Потребление теплоты и электричества по всему миру увеличивается с каждым годом, вместе с этим растёт необходимость поиска новых источников топлива. Технологии возобновляемых источников энергии могут значительно уменьшить проблемы, связанные с использованием топлива.

В настоящее время среди видов топлива с низкой энтальпией для выработки энергии наиболее популярным является биомасса. Большинство источников биомассы представлены древесиной и древесными отходами, а также отходами сельского хозяйства. Использование данных видов топлив может осуществляться теми же способами, которые применяются при переработке традиционного твердого топлива – угля [1-3].

Биомасса – это возобновляемый ресурс, представляющий собой суммарную массу растительных, животных и других организмов, присутствующих в экологической системе.

Был проведён ряд исследований, в которых были выявлены более эффективные методы использования биомассы в энергетических установках [4-6].

Биологическое топливо является сложным ресурсом. Для выработки электроэнергии из биомассы пользуются решениями на основе котельных установок прямого сжигания топлива, газовых турбин и гибридных систем [2-5].

Современные способы преобразования энергии из биомассы, основанные на котельных установках и паровых турбинах мощностью более 50 МВт при температуре пара 480 °С могут обеспечить электрический КПД до 25% [3].

Газотурбинные установки обеспечивают высокую эффективность при относительно небольших масштабах (30-50 МВт) [4]. Ожидается, что они позволят достичь эффективности около 40% при использовании древесной биомассы [1-3].

Комбинация газотурбинной установки с установкой для прямого сжигания топлива на станциях мощностью 90-100 МВт обеспечивает высокую эффективность преобразования энергии. Такие системы вырабатывают электроэнергию с КПД 35-40% [5].

Основными критериями отбора видов биомассы являются: скорость роста, простота управления, сбора урожая и другие внутренние свойства, такие как содержание влаги, золы, щелочи и углерода [1-3].

Недостатком использования биомассы для термоэлектрической генерации является то, что она преобразуется в энергию на установках с низким электрическим КПД. Таким образом, несмотря на экологические и другие преимущества биологического топлива, оно не сможет эффективно конкурировать на рынке.

### **Источники**

1. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Эксергетическая эффективность угольных малых теплоэлектростанций как критерий перспективности их широкого использования // Химия твердого топлива. 2009. № 1. С. 64-69.

2. 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.

3. Косторева Ж.А., Малышев Д.Ю., Сыродой С.В. Определение условий и характеристик зажигания частиц влажной древесины для повышения ресурсоэффективности энергетики // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 2. С. 97–105.

4. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Исследование режимных параметров поточного газогенератора при газификации твердого топлива // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 216-223.

5. Войтович Д.А. Эффективное использование местных видов топлива в водогрейных котлах // «Теплоэнергетика и теплотехника». Материалы 78-й научно-технической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы энергетики», апрель 2022 г., г. Минск. С.122-126.

6. Mingaleeva G., Nguen D.T., Pham D N. [et al.] The integration of hybrid mini thermal power plants into the energy complex of the republic of vietnam // Energies. 2020. Vol. 13, No. 21. P. 5848. DOI 10.3390/en13215848.

УДК 621.438

## СОВРЕМЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Шарипов Тимур Ильшатovich<sup>1</sup>, Шакуров Фаиль Фиргатович<sup>2</sup>,  
Валиуллин Артур Андреевич<sup>3</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Мингалеева Гузель Рашидовна  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>timurka\_sharipov\_2004@mail.ru, <sup>2</sup>fail.shakurov@list.ru, <sup>3</sup>valiullin.art2017@gmail.com

В докладе рассматривается производство современных высокоэффективных отечественных ТЭС, способных конкурировать на рынке.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, эффективность, конкурентоспособность.

## MODERN DOMESTIC THERMAL POWER PLANTS

Sharipov Timur I.<sup>1</sup>, Shakurov Fail F.<sup>2</sup>, Valiullin Artur A.<sup>3</sup>

Scientific advisor Mingaleeva Guzel R.

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>timurka\_sharipov\_2004@mail.ru, <sup>2</sup>fail.shakurov@list.ru, <sup>3</sup>valiullin.art2017@gmail.com

The report examines the production of modern highly efficient domestic GTU capable of competing in the market.

**Keywords:** gas turbine installation, efficiency, competitiveness.

Современные отечественные тепловые электрические станции представляют собой высокотехнологичные системы, используемые в таких отраслях промышленности, как энергетическая, нефтегазовая, авиационная, морская и др. [1-3]. В качестве топлива применяются: твердое топливо, жидкое топливо и газообразное топливо [4-6].

На сегодняшний день в России разрабатываются и производятся газотурбинные установки различных мощностей и назначений [2, 4]. Наиболее известные и значимые российские производители ГТУ

включают в себя следующие компании: АО "Силовые машины"; АО "Русские машины"; АО "Саянсктрансгаз".

Современная отечественная газотурбинная установка - это машина, предназначенная для производства электроэнергии, теплоснабжения, привода механизмов и других видов работ за счет использования энергии, выделяемой при сжигании топлива.

Современные отечественные газотурбинные установки отличаются высокой экономичностью, эффективностью, экологичностью, приспособленностью к автоматизации, надежностью, простотой конструкции и обслуживания, что делает их конкурентоспособными на мировом рынке. Также их основным преимуществом является то, что они способны работать на различных видах топлива, таких как: природный газ, мазут, дизельное топливо, биологическое топливо и др [3-5].

В России было произведено множество различных газотурбинных установок, которые хорошо зарекомендовали себя на рынке энергетического оборудования.

ГТУ-6П – это мощный и надежный газотурбинный агрегат, разработанный компанией «Силовые машины», который применяется в энергетической и нефтегазовой отраслях. Он обладает высокой эффективностью и эксплуатационными характеристиками.

ГТУ-25ПГ тоже была разработана компанией "Силовые машины". Представляет собой газотурбинную установку мощностью 25 МВт. Этот агрегат широко применяется в энергетике и на объектах нефтегазопереработки.

ГТЭ-110 – разработка компании "Уралтурбоэнергомаш". Этот газотурбинный агрегат мощностью 110 МВт используется для генерации электроэнергии, а также для привода компрессоров в газоперерабатывающих производствах.

ГТУП-60ПГ – разработка СПК "Ивтек технологии", этот газотурбинный агрегат предназначен для использования в качестве надежного и эффективного источника энергии для промышленных предприятий и объектов энергетики.

В настоящее время проектирование новых отечественных моделей, способных обеспечить стабильную работу, высокую производительность и экономичность эксплуатации, не прекращается. Таким образом, в России будет продолжаться развитие газотурбинных установок путём внедрения всё более современных инновационных технологий.

## Источники

1. Афанасьева О.В., Мингалеева Г.Р. Эксергетическая эффективность угольных малых теплоэлектростанций как критерий перспективности их широкого использования // Химия твердого топлива. 2009. № 1. С. 64-69.
2. 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.
3. Мингалеева Г.Р., Гайнетдинов А.В., Шакиров Р.Р., Ахметов Э.А. Сравнительный анализ способов снижения вязкости водоугольных топлив // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 37-46.
4. Тимофеева С.С., Мингалеева Г.Р. Исследование режимных параметров поточного газогенератора при газификации твердого топлива // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 16. С. 216-223.
5. Пятыгина М.В., Мингалеева Г.Р. Моделирование процесса образования продуктов термохимической переработки угля // Теплоэнергетика. 2010. № 9. С. 67-70.
6. Mingaleeva G., Nguen D.T., Pham D N. [et al.] The integration of hybrid mini thermal power plants into the energy complex of the republic of vietnam // Energies. 2020. Vol. 13, No. 21. P. 5848. DOI 10.3390/en13215848.

УДК 621.4

## СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Шаров Максим Денисович

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Барсков Виктор Валентинович  
ФГАОУ ВО «СПбПУ», г. Санкт-Петербург, Ленинградская область  
sharov.md@edu.spbstu.ru

В статье рассматриваются современные энергетические технологии такие как органический цикл Ренкина и сверхкритический цикл Брайтона на  $\text{CO}_2$  для использования в геотермальной энергетике.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика, органический цикл Ренкина, сверхкритический цикл Брайтона на  $\text{CO}_2$ .

# MODERN ENERGY TECHNOLOGIES IN GEOTHERMAL ENERGY

Sharov Maxim D.

Scientific advisor Barskov Viktor V.

SPbPU, St. Petersburg, Leningrad region

sharov.md@edu.spbstu.ru

The article discusses modern energy technologies such as organic Rankine cycle and supercritical CO<sub>2</sub> Brayton cycle for use in geothermal energy.

**Keywords:** geothermal energy, organic Rankine cycle, supercritical CO<sub>2</sub> Brayton cycle.

Повышение выработки электроэнергии с помощью геотермальных источников теплоты является актуальной задачей для нашей страны. В России существует множество перспективных с точки зрения развития геотермальной энергетики регионов, таких как: Камчатский край, Курильские острова, Сахалин, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток и другие. По всей стране обнаружены запасы геотермальных вод температурой от 40 до 200 °С [1]. На данный момент в стране пробурено 385 скважин на глубину от 170 до 1800 м, в том числе 44 скважины с двухфазными жидкостями температурой более 160 °С [2]. На сегодняшний день, в России имеется 5 геотермальных электростанций: Паужетская, Мутновская, Верхне-Мутновская, Океанская, Менделеевская. Для каждой из них имеется возможность внедрения энергоустановок на низкокипящих рабочих телах. Как известно, истощение ресурсов ископаемого топлива является проблемой, которая может обостриться в течение всего нескольких десятков лет при современных темпах потребления электроэнергии. Поэтому необходимо увеличить вклад геотермальных источников энергии в топливно-энергетический баланс России, так как это самый перспективный возобновляемый источник энергии для нашей страны. Независимость от времени суток и года, высокая экологичность также являются привлекательными характеристиками геотермальной энергетики.

Цель данной работы – показать, с помощью каких современных энергетических технологий можно в обозримом будущем начать реализовывать значительный геотермический потенциал России. Для решения поставленной цели рассматриваются следующие циклы: органический цикл Ренкина, сверхкритический углекислотный цикл Брайтона и комбинация этих двух циклов для совместной выработки электроэнергии. Разработана рекомендация, в каких случаях лучше



использовать тот или иной цикл. При её создании использовались различные зарубежные научные статьи.

Для геотермальных источников теплоты в температурном диапазоне от 80 до 220 °С наиболее эффективным будет органический цикл Ренкина [3]. Его термический КПД обычно не превышает 24%. На сегодняшний день существует три основных лидера на мировом рынке в производстве установок на ОЦР (органический цикл Ренкина) – это компании Turboden, ORMAT и Maxxtech. Для геотермальной энергетики первая кампания может предложить энергетические установки в диапазоне температур источника тепла от 100 до 300 °С и в диапазоне мощностей от 200 до 2000 кВт, а вторая – в диапазоне температур источника тепла от 150 до 300 °С и в диапазоне мощностей от 200 до 70 000 кВт [4].

Для геотермальных источников теплоты в температурном диапазоне от 220 до 250 °С по своей эффективности конкурирует с ОЦР сверхкритический углекислотный цикл Брайтона, который на данный момент ещё находится в разработке. Выше этих значений температуры первенство за сверхкритическим углекислотным циклом Брайтона. В температурном диапазоне от 250 до 300 °С его термический КПД имеет значения от 25 до 27% [5].

В перспективе возможен также вариант совместного использования органического цикла Ренкина и сверхкритического углекислотного цикла Брайтона для комбинированной выработки электроэнергии. Он позволяет использовать геотермальное тепло с большей эффективностью, чем при использовании одиночного ОЦР [6].

## Источники

1. Маслов, К. А. Геотермальная энергия. Виды геотермальных электростанций // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года. 2020. С. 4259–4263.

2. Бадавов Г. Б. Геотермальная энергетика: всемирный обзор 2020. Часть 1 [Электронный ресурс]. <https://www.c-o-k.ru/articles/geotermalnaya-energetika-vsemirnyu-obzor-2020-chast-2> (дата обращения: 10.04.2023).

3. Liu Liuchen & Yang Qiguo & Cui Guomin. Supercritical Carbon Dioxide(s-CO<sub>2</sub>) Power Cycle for Waste Heat Recovery: A Review from Thermodynamic Perspective // Processes, 2020, 8(11). 1461.

4. Quoilin Sylvain & Van den Broek Martijn & Declaye Sébastien & Dewallef Pierre & Lemort Vincent. Techno-economic survey of Organic

Rankine Cycle (ORC) systems // Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2013. No. 22, P. 168–186.

5. Energy, U.S & Baldwin, Samuel. Quadrennial Technology Review: An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities, 2015.

6. Ruiz-Casanova, Eduardo & Soto-Sánchez, Ana & Rubio-Maya, Carlos & Romero, Carlos & Levy, Edward. Use of Supercritical CO<sub>2</sub> heated with geothermal energy for power production through direct expansion and heat supply to an ORC cycle // ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition at Tampa, FL, 2017.

УДК 621.311

## **ВЫБОР ГАЗОПОРШНЕВОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВАНИИ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

Шилкин Данил Викторович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>  
Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>DanilsBrain@yandex.ru

В данной работе рассматривается выбор газопоршневой установки с учетом потребления электроэнергии потребителем. Выделены достоинства и недостатки данных энергоустановок, приведены виды автоматик, входящих в щит управления. Обозначены ключевые производители газопоршневых установок, которые могут устанавливаться на предприятиях в качестве резервного источника электроснабжения.

**Ключевые слова:** газопоршневая установка, электроэнергия, энергоустановка, управление, потребление, электроснабжение.

## **SELECTION OF A GAS PISTON INSTALLATION BASED ON THE CALCULATION OF THE ELECTRICAL LOAD**

Shilkin Danil V.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>DanilsBrain@yandex.ru

In this paper, the choice of a gas piston installation is considered, taking into account the consumption of electricity by the consumer. The advantages and disadvantages of these power plants are highlighted, the types of automatics included in the control panel are given. The key manufacturers of gas piston installations that can be installed at enterprises as a backup power supply source are identified.

**Keywords:** gas piston installation, electric power, power plant, management, consumption, power supply.

В настоящее время многие технологические процессы обладают высокотехнологичностью, что приводит к необходимости увеличения надежности и качества электроснабжения [1-3]. Именно по этим причинам многие предприятия предусматривают установку собственных источников питания. Расчёт электрической нагрузки для выбора источников питания можно осуществить на основе анализа графиков нагрузки предприятия [4-6]. Также можно использовать «грубый» расчёт потребления электроэнергии в настоящий момент, когда работает определённое количество энергоприёмников с максимальной мощностью, их мощность суммируется. Также можно производить замер текущей потребляемой мощности при помощи ваттметра. Как правило, дополнительные источники питания устанавливаются у первой категории потребителей, с последующим увеличением надёжности электроснабжения и повышения до первой особой группы электроприёмника. В качестве источников питания могут применяться: аккумуляторные батареи, стабилизаторы напряжения, инверторы, трансформаторы, энергетические установки – газопоршневые установки (ГПУ), дизельные генераторы. Если рассматривать газопоршневые установки, то они работают за счёт сгорания топлива – природного газа. Важно отметить, что такие когенерационные установки могут вырабатывать не только электрическую энергию, но и тепловую. Это позволяет обеспечивать здание в полной мере всеми необходимыми ресурсами для продолжения производства во время аварии в электрических сетях основного поставщика энергоресурса. Рассмотрим пример газопоршневой установки БКППЭА-200, характеристики которой приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики БКППЭА-200

№ п/п	Наименование	Значение
1.	Максимальная суммарная мощность, развиваемая без ограничения времени непрерывной работы, кВт	200
2.	Тепловая мощность, Гкал/ч	0,11
3.	Коэффициент загрузки электростанции, %	0,9
4.	Номинальная электрическая мощность, кВт	180

Основываясь на результатах аудита предприятия, определено, что установка двух рассматриваемых ГПУ в полной мере сможет удовлетворять потребностям производства. Важным преимуществом БКГПЭА-200 является наличие автоматики управления, а именно автоматическим вводом резерва (АВР), что позволяет эффективно осуществлять оперативные переключения персоналом во избежание останова производства и увеличения экономических потерь со стороны предприятия. Подводя итоги, можно сказать, что подбор генерирующей установки должен зависеть от текущей электрической нагрузки предприятия, режимов нагрузки и периодов максимального потребления [4-6]. Необходимо предусматривать запас мощности во избежание перегрузки генерирующей установки.

### **Источники**

1. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В. [и др.] Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

2. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Актуализация удельных электрических нагрузок дошкольных образовательных и общеобразовательных учреждений // Вестник Чувашского университета. 2021. № 1. С. 134-145. DOI 10.47026/1810-1909-2021-1-134-145.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Чернова Н.В. [и др.] Анализ фактических электрических нагрузок объектов индивидуального жилищного строительства // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № 5(68). С. 60-65.

5. Ахметшин А.Р., Солуянов Ю.И., Федотов А.И. [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.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов

УДК 621.438

## РАБОТА ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НА РАЗНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА

Шилкин Данил Викторович<sup>1</sup>, Маслов Игорь Николаевич<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Рябенков Николай Георгиевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> DanilsBrain@yandex.ru

В данной работе рассматривается возможность перехода газотурбинной установки на различные виды газообразного или жидкого топлива. Определены виды топлива, при использовании которого будет наименьший выброс углекислого газа и оксида углерода.

**Ключевые слова:** энергоустановка, газотурбинная установка, топливо, сгорание.

## OPERATION OF A GAS TURBINE INSTALLATION ON DIFFERENT TYPES OF FUEL

Shilkin Danil V.<sup>1</sup>, Maslov Igor N.<sup>2</sup>

Scientific advisor Ryabenkov Nikolay G.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> DanilsBrain@yandex.ru

In this paper, the possibility of switching a gas turbine installation to various types of gaseous or liquid fuels is considered. The types of fuels that will produce the lowest emissions of carbon dioxide and carbon monoxide have been determined.

**Keywords:** power plant, gas turbine plant, fuel, combustion.

В настоящее время производится постепенный переход на газотурбинные установки (ГТУ). Это вызвано тем, что коэффициент полезного действия ГТУ выше за счёт бинарного цикла по сравнению с классическим паротурбинным циклом генерации.

Рассмотрим различные виды топлива, на котором сейчас работает большинство таких энергоустановок: газы: природный, сжиженный,

биогаз, попутный нефтяной, шахтный, древесный [1-3]; жидкое: дизельное топливо, керосин, дистилляты.

Самым классическим топливом для ГТУ является сжиженный природный, углеводородный и синтез газы [1]. Это объясняется тем, что они обладают высоким уровнем качества, чистоты и обладают постоянством состава. Важно отметить, что для каждого месторождения свойства качества разные, но необходимо удовлетворять следующим условиям: устойчивость к самовозгоранию; устойчивость к обратному зажиганию; соответствие экологическим требованиям; устойчивость к детонациям. Важно отметить, что большинство ГТУ может работать на топливе с низкой калорийностью и минимальной концентрацией метана (0,3 от общей концентрации) [4-6]. В ходе анализа исследований авторов при расчёте в программе Terra производилось изменение содержания водорода и метана в смеси. Расчёт производился с целью определения наименьшего количества выбросов оксида и диоксида углерода. Производилось 6 расчётов со следующими концентрациями водорода и метана. Давления в газотурбинной установке задавались в трёх вариациях: 0,2; 5 и 9,95 МПа. В ходе определения равновесной концентрации оксида и углекислого газа определено, что при увеличении содержания водорода в топливе происходит снижение концентрации выбрасываемых газов [5] (рис. 1, 2).

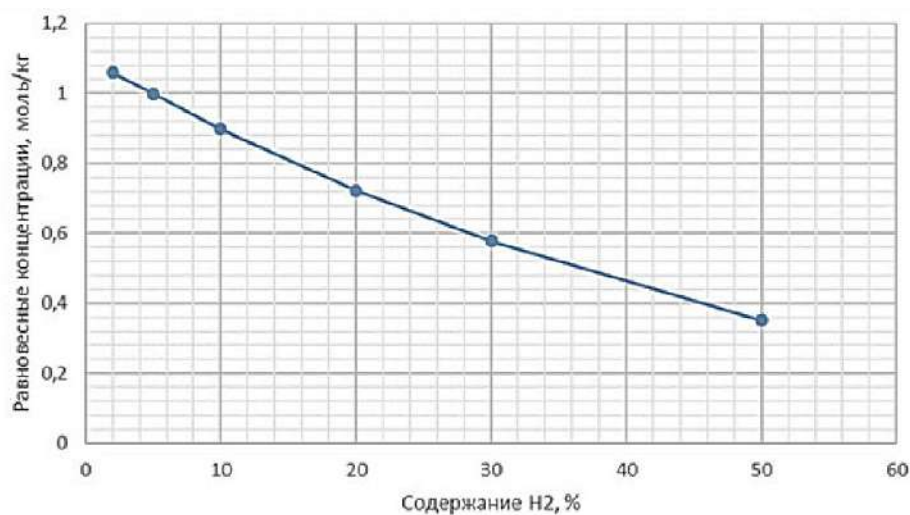


Рис. 1. График зависимости равновесной концентрации диоксида углерода от содержания водорода

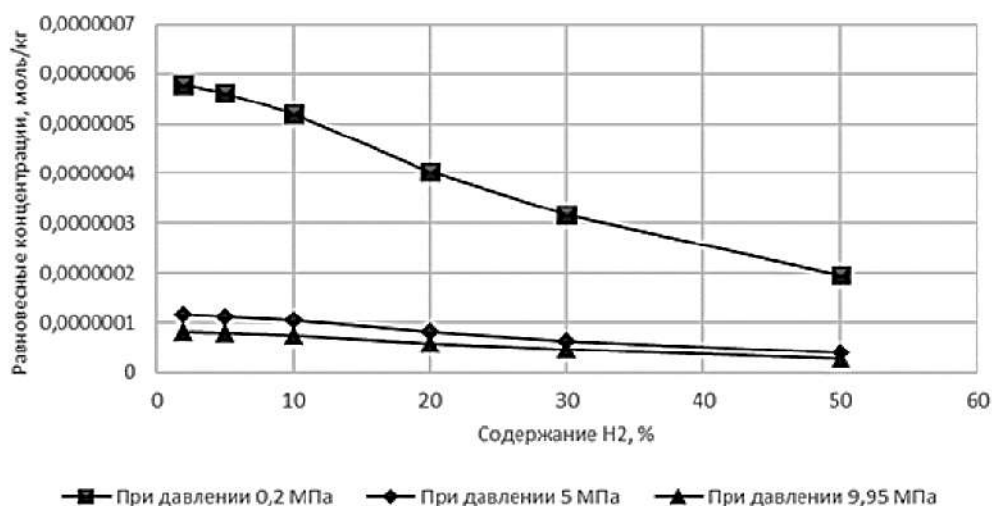


Рис. 2. График зависимости равновесной концентрации оксида углерода от содержания водорода при различных давлениях

Подводя итоги, можно сказать, что при увеличении концентрации водорода 50% в смеси происходит существенное снижение выбросов  $\text{CO}_2$  без изменения температуры в зоне горения с учетом соответствующего коэффициента избытка воздуха. Также стоит отметить, что многим электростанциям необходимо переходить к снижению углеродного следа путём использования аналогичных смесей метана и водорода. В качестве нового направления исследований можно рассматривать использование данного вида топлива с различными концентрациями.

### Источники

1. Марьин Г.Е. Прогнозирование энергетических характеристик оборудования ТЭС при работе на топливном газе различного компонентного состава : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Марьин Георгий Евгеньевич, 2023. 247 с.
2. 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.
3. Мингалеева Г.Р., Гайнетдинов А.В., Шакиров Р.Р., Ахметов Э.А. Сравнительный анализ способов снижения вязкости водоугольных топлив // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 37-46.

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.

5. 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.

6. Титов А.В., Осипов Б.М. Расчет статических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя // Инновационная наука. 2016. № 11-2. С. 72-74.



## Секция 4. Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений

УДК 621.311.26

### ОЦЕНКА СЕБЕСТОИМОСТИ ВОДОРОДА В ГИБРИДНОМ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЕ

Айдаров Максим Александрович<sup>1</sup>, Пономарёва Дарья Сергеевна<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Николаев Юрий Евгеньевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «СГТУ» имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Саратовская область

<sup>1</sup>maksim.aydarov@mail.ru, <sup>2</sup>ponomarevads@sstu.ru

В статье приведена оценка себестоимости водорода в гибридном энергокомплексе, в котором дополнительно вырабатываются кислород, электрическая и тепловая энергии. В процессе анализа отдельного и комбинированного производства водорода установлено, что себестоимость в комбинированной схеме примерно на 40% ниже, чем в отдельной.

**Ключевые слова:** гибридный энергокомплекс, водород, кислород, электролиз, электрическая, тепловая энергия, себестоимость энергоносителей.

### ESTIMATION OF THE COST OF HYDROGEN IN A HYBRID ENERGY COMPLEX

Aidarov Maxim A.<sup>1</sup>, Ponomareva Daria S.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> «Gagarin State Technical University», Saratov, Saratov region

<sup>1</sup>maksim.aydarov@mail.ru, <sup>2</sup>ponomarevads@sstu.ru

The article provides an estimate of the cost of hydrogen in a hybrid energy complex, which additionally produces oxygen, electrical and thermal energy. In the process of analyzing separate and combined hydrogen production, it was found that the cost in the combined scheme is about 40% lower than in the separate one.

**Keywords:** hybrid energy complex, hydrogen, oxygen, electrolysis, electric, thermal energy, cost of energy carriers.

Рост населения Земли неуклонно ведет к увеличению энергопотребления, что вынуждает человечество искать новые источники энергии, параллельно увеличивая потребление традиционных топлив, таких как нефть, природный газ и уголь. Такой вектор развития экономики

в ближайшем будущем может привести к истощению запасов ископаемого топлива, оказывая значительное влияние на рост среднегодовой температуры на Земле. Особенно это проявляется в виде выбросов парниковых газов от промышленных, транспортных и энергетических установок, работающих на ископаемом топливе. Поэтому с конца XX века активно проводится работа в направлении декарбонизации экономики путем вовлечения в энергобаланс возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а главным энергоносителем планируется сделать водород. Многие ведущие страны, в том числе и Россия, приняли концепции и дорожные карты по развитию водородной энергетики.

Как известно, водород в свободном виде на Земле не встречается, его получают либо из ископаемого топлива, либо электролизом воды, используя электроэнергию АЭС, ГЭС или ВИЭ [1]. Себестоимость производства водорода различными методами показана в таблице 1 [2]:

Таблица 1

Стоимости водорода, произведенного различными методами

Процесс получения	Стоимость H <sub>2</sub> (\$/кг)
Газификация угля без улавливания CO <sub>2</sub>	1,34
Газификация угля с улавливанием CO <sub>2</sub>	1,63
Паровая конверсия без улавливания CO <sub>2</sub>	2,08
Паровая конверсия с улавливанием CO <sub>2</sub>	2,27
Атомный электролиз	4,15-7,00
Ветровой электролиз	5,89-6,03
Солнечный электролиз	7,98-8,4

Из таблицы 1 следует, что электролизный способ получения водорода значительно превышает стоимость газификации и паровой конверсии. Даже методы с улавливанием диоксида углерода остаются дешевле «зеленых» технологий. Однако выше были рассмотрены варианты с производством в качестве конечного продукта только водорода. Комбинирование электролизного производства водорода с другими энергоносителями, такими как тепловая и электрическая энергии, кислород позволит снизить стоимость водорода. Схема комбинированного производства приведена на рисунке 1 [3]. Для данной схемы выполнен расчет количественных показателей энергокомплекса в условиях г. Камышин. Присоединенные нагрузки по теплу, электроэнергии, водороду

и кислороду были приняты соответственно 5 МВт; 10,55 МВт, 65 кг/сут.; 520 кг/сут. Предполагается, что все виды производимых энергоносителей направляются на продажу по местным тарифам. По результатам расчета годовых показателей и суммарных эксплуатационных затрат выполнена оценка себестоимости водорода, производимого как отдельным способом (на базе солнечного электролиза), так и комбинированным способом в составе энергокомплекса совместно с теплом и электроэнергией.

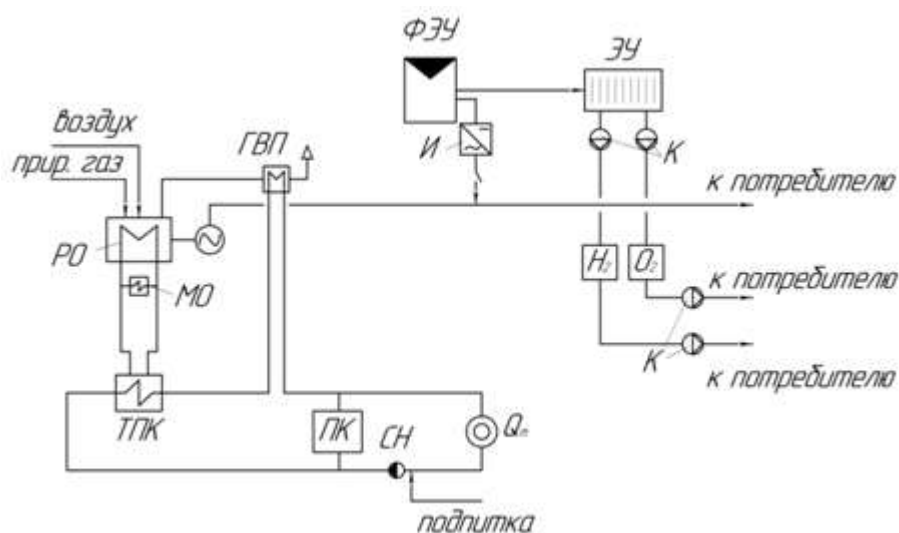


Схема комбинированного производства водорода, кислорода, электроэнергии и теплоты

где ГВП – газовойодяной подогреватель, ФЭУ – фотоэлектрическая установка, ЭУ – электролитическая установка, И – инвертор, К – компрессор, СН – сетевой насос, ПК – пиковый котел, МО – маслоохладитель, РО – рубашка охлаждения, ТПК – теплообменник промежуточного контура, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> – ресиверы для хранения водорода и кислорода соответственно.

Разделение издержек по видам энергоносителей производилось пропорционально их себестоимости в отдельном производстве. Результаты расчетов приведены в таблице 2:

## Стоимости водорода, произведенного различными методами

Продукт	Способ производства	
	Раздельный	Комбинированный
Водород, руб./кг	3497,5	1359,63
Кислород, руб./кг	409,25	160
Тепловая энергия, руб./Гкал	2297,25	875,19
Электроэнергия, коп./кВт·ч	585	229

На основании данных таблицы 2, можно сделать вывод, что комбинирование солнечного электролиза с параллельным производством тепла и электроэнергии целесообразно и приводит к снижению себестоимости всех продуктов порядка на 50-60%.

### Источники

1. Аминов, Р.З. Комбинирование водородных энергетических циклов с АЭС/ Р.З. Аминов, А.Н. Байрамов; Саратовский научный центр РАН. – М.: Наука, 2016. – 254 с.

2. Макарян, И. А. Оценка экономической эффективности масштабов получения водорода различными методами / И. А. Макарян, И. В. Седов // Российский химический журнал. – 2021. – Т. 65, № 1. – С. 62-76.

3. Патент № 2802113 С1 Российская Федерация, МПК F01K 13/00, F01B 21/00. Энергетическая установка с комбинированным производством электрической, тепловой энергии и водорода : № 2022130965 : заявл. 28.11.2022 : опубл. 22.08.2023 / Ю. Е. Николаев, М. А. Айдаров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.".

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ОПОР ЛЭП В СЕЙСМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ

Гильфанова Раиля Ленаровна<sup>1</sup>

Науч. рук. к.т.н, доц. Шарафутдинов Линар Альфредович

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

railia.gilfanova@mail.ru

В данной статье рассматривается возможность замены старых линий электропередачи на более современные для повышения бесперебойности и эффективности передачи энергии. Перечислены основные характеристики, преимущества и недостатки современных ЛЭП и их отличия от старых.

**Ключевые слова:** композитный материал, опора, модернизация ЛЭП, стеклопластик.

## ANALYSIS OF THE USE OF COMPOSITE POWER TRANSMISSION POLES IN A SEISMIC AREA

Gilfanova Railia L.

Scientific Ad. Sharafutdinov Linar A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

railia.gilfanova@mail.ru

This article discusses the possibility of replacing old power transmission lines with more modern ones to increase the uninterruptedness and efficiency of energy transmission. The main characteristics, advantages and disadvantages of modern power lines are listed.

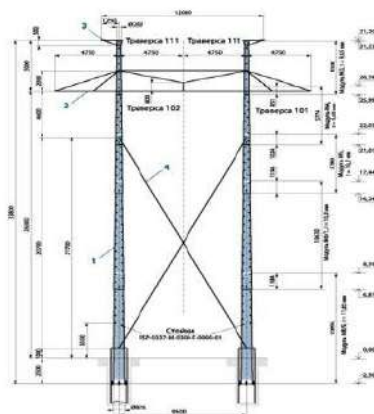
**Keywords:** composite material, support, modernization of power lines, fiberglass.

Значительная часть нашей территории (более 25 %) расположена в сейсмоопасных районах, где находятся 27 муниципальных образований и 550 населенных пунктов с населением более 2 млн человек. В последние годы произошло несколько сильных землетрясений в районах, ранее считавшихся не сейсмически опасными или с низкой расчетной интенсивностью сейсмической активности (например, землетрясение магнитудой 9 на Алтае в 2003 году и серия землетрясений магнитудой 10 в Корьякском автономном округе в 2006 году) [1].

Композитные конструкции для воздушных линий электропередачи - относительно новый тип мачтовых конструкций, опыт применения которых насчитывает не более 15 лет.

Композитные материалы - это конструкционные материалы с армирующими элементами в виде нитей, волокон или чешуек из более прочных материалов. При этом свойства композитных материалов зависят не только от свойств самих компонентов, но и от их пространственного расположения и характера взаимодействия [2].

Хорошо известен опыт Норвегии, где сетевая компания использует стеклопластиковые стойки RStandard на воздушных линиях электропередачи напряжением 132 кВ в отдаленных горных районах (см. рисунок)



Эскиз промежуточной опоры ППРС 330-1.263-338-0309, выполненной на композитных стойках Rstandard.

К основным достоинствам композитных опор относят следующие:

1. Опорные столбы имеют небольшой вес. Например, столб освещения высотой 12 м весит всего 68 кг, что значительно меньше веса деревянного столба (деревянный столб высотой 12 м весит от 300 до 530 кг);

2. Упрощенное хранение и транспортировка. Благодаря тому, что опоры полые внутри, их можно хранить и перевозить по принципу «матрешки»;

3. Простой монтаж опор. Сборка и установка композитных опор не требует использования сложных монтажных инструментов или тяжелой техники;

4. Отсутствие необходимости в техническом обслуживании в процессе эксплуатации. Поскольку композитные опоры не подвержены коррозии и гниению (так как не содержат стальных элементов), нет необходимости красить или гидроизолировать опоры, а также регулярно заделывать трещины;

5. Отличные диэлектрические свойства;
6. Опоры обладают высокой прочностью и долговечностью;
7. Огнестойкость и экологические аспекты;
8. Безопасность для транспорта [3].

К недостаткам опор из композитных материалов следует отнести следующее:

1. Основным ограничением потребительского спроса на опоры ВЛ с элементами из композитных материалов является их относительно высокая цена [4].

К 2021 году в РФ около 2% всех опор ЛЭП были композитными, но эта цифра может измениться благодаря новым проектам и замене старых опор. Важно отметить, что использование композитных опор в российском энергетическом секторе все еще находится на начальном этапе, и для дальнейшего расширения потребуются инвестиции и нормативные стимулы [5].

Опираясь на положительный опыт проектирования западных специалистов и использования композитных опор, можно определить необходимость внедрения методики использования композитных опор в России.

### **Источники**

1. ГОСТ Р 58018-2017 Опоры промежуточные композитные полимерные для воздушных линий электропередачи напряжением 35-220 кВ. Москва, 2018.

2. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Москва: Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*, 2018.

3. Балясова Д.А., Голубь Н.В., Клевакина О.В. опоры воздушных линий из композитных материалов // - стр.143-147 - Екатеринбургский энергетический техникум URL: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/65738/1/978-5-91256-431-4\\_2018-27.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/65738/1/978-5-91256-431-4_2018-27.pdf)

4. Кожажелди Б.Ж., Жанпейсова А.О., Кушумкулов А.С., Абзалов Ж.М. Сравнительный анализ железобетонных опор с композитными опорами ЛЭП // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, Т. 1 (100), 2017. С. 28-34.

5. Коржов С.А., Прядко Ю.А. Быстромонтируемые облегченные опоры из композитных материалов // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов, 2015. С. 480-483.

УДК 624.25

## **ДИАГНОСТИКА И ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ**

Мустафина Гульфия Равиловна

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Шарафутдинов Линар Альфредович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
gulfia999@gmail.com

Данная статья посвящена рассмотрению дефектов в конструкциях резервуаров перед эксплуатацией для обнаружения дефектов и неисправностей, а также периодической диагностике резервуаров во время эксплуатации с помощью неразрушающих методов контроля.

**Ключевые слова:** резервуар, стальной, вертикальный, диагностирование, сварные соединения.

## **DIAGNOSIS AND DETECTION OF DEFECTS IN STEEL TANKS**

Mustafina Gulfiya R.

Scientific advisor Sharafutdinov Linar A.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
gulfia999@gmail.com

This article is devoted to the consideration of defects in tank designs before operation to detect defects and malfunctions, as well as periodic diagnostics of tanks during operation using non-destructive testing methods.

**Keywords:** tank, steel, vertical, diagnostics, welded joints.

Резервуар в нефтяной промышленности используются в различных районах, отличающихся между собой климатом и грунтовыми условиями. Эксплуатационная характеристика резервуаров характеризуется работоспособностью, долговечностью и ремонтнопригодностью.

Важным условием перед эксплуатацией резервуара, предназначенного для воды или нефтепродуктов является производство



гидроиспытаний на непроницаемость воды и надежность. Для этого в определенный интервал времени и до необходимого уровня, рассчитанного проектом, резервуар медленно заполняется водой. В процессе рабочие смотрят за осадкой металлоконструкции и соединениями [1].

Если резервуар предназначен для нефтепродуктов с разрешения Ростехнадзора заполнение осуществляется нефтью.

Кроме того, существует пневмоиспытание при помощи создания внутри избыточного давления. Заполнение осуществляется воздушной или газовой средой. Заполняющаяся среда зависит от назначения резервуара. Значение газа должно быть наравне с показателем давления воды при гидравлическом испытании [2].

В программу испытаний входит следующее:

- первичный визуальный осмотр;
- требования по измерению геометрических значений фундамента и иных составляющих конструкции на всех этапах проверки.
- заполнение жидкостью резервуара;
- величина избыточного давления;
- обработка полученных результатов исследования;
- оценивая возможность использования резервуаров в условиях нагружения, выводятся соответствующие выводы о их пригодности для эксплуатации.

На сегодняшний день строгие стандарты по выполнению испытаний железобетонных резервуаров, так как любой не учтенный дефект приводит к серьезным последствиям. К примеру, необходимо строго соблюдать уровень давления, при разгерметизации в данном случае может возникнуть авария [3].



Коррозия резервуара

Для того, чтобы выявить неисправности резервуара в процессе эксплуатации на сегодняшний день наблюдается множество способов неразрушающего контроля сварных соединений. В данном случае дефекты могут появиться из-за смены условий, нагрузок, сверхдлительной эксплуатации. В основном дефекты проявляются в виде коррозии (см. рисунок) или нарушения геометрической формы резервуара.

Таким образом, производить испытание резервуаров до эксплуатации необходимо для того, чтобы обнаружить возможные дефекты и неисправности, возникшие в процессе металлургии и монтажных работ. Кроме того, следует осуществлять периодический контроль сварных соединений для исключения появления дефектов в виде коррозии или нарушения геометрической формы.

### **Источники**

1. Radaikin O, Sharafutdinov L. Reinforced concrete beams strengthened with steel fiber concrete // IOP conference series : Materials Science and Engineering. 2020. С.890

2. Радайкин О.В., Шарафутдинов Л.А. Экспериментальные исследования железобетонных балок, усиленных сталефибробетонной рубашкой // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. № 3. С. 34-35

3. Радайкин О.В., Шарафутдинов Л.А. К совершенствованию методики расчета усиления изгибаемых железобетонных элементов сталефибробетоном с применением нелинейной деформационной модели // Научному прогрессу – творчество молодых. 2016. № 4. С. 94-97.

УДК 624.95

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РЕЗЕРВУАРА**

Мустафина Гульфия Равиловна

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Шарафутдинов Линар Альфредович

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

[gulfia999@gmail.com](mailto:gulfia999@gmail.com)

Данная статья посвящена рассмотрению конструктивных решений железобетонного цилиндрического резервуара вместимостью 250 м<sup>2</sup>. Приведены

размеры, формы конструкций, а также расположение арматуры и качество бетона в резервуаре.

**Ключевые слова:** цилиндрический резервуар, прочность, сжатие, герметичность.

## **STRUCTURAL SOLUTIONS OF A CYLINDRICAL REINFORCED CONCRETE TANK**

Mustafina Gulfiya R.

Scientific advisor Sharafutdinov Linar A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

gulfia999@gmail.com

This article is devoted to the consideration of structural solutions of a reinforced concrete cylindrical tank with a capacity of 250 m<sup>2</sup>. The dimensions, shapes of structures, as well as the location of the reinforcement and the quality of concrete in the tank are given.

**Keywords:** cylindrical tank, strength, compression, tightness.

Резервуар является неотъемлемой частью в эксплуатации нефтепродуктов, поэтому его возведение рекомендуется вести с особой тщательностью, так как он является оборудованием с повышенными требованиями к герметичности.

Сам резервуар железобетонный и выполнен из тяжелого бетона класса В15 по прочности на сжатие, марки F100 по морозостойкости и W4 по водонепроницаемости [1].

Стены резервуара выполнены из тонкостенного монолита с бетонированием суперпластификатором СЗ, что повышает возможность подвижности смеси.

Бетонирование швов выполняется с использованием силиконового клея, что повышает качество и сокращает время на обработку швов.

Антикоррозионная защита обеспечивается за счет защитного слоя и плотности самого бетона.

В резервуаре предусмотрена гидроизоляция стенок покрытия и днища холодной асфальтовой мастикой, а также предусмотрена обработка поверхностей, взаимодействующих с водой. Непосредственно сама обработка производится только после всех произведенных испытаний. Перед гидроизоляцией необходимо очистить все поверхности резервуара, провести необходимые испытания, кроме того, крупные раковины и

выступы должны быть выровнены. При использовании резервуара в качестве хранения питьевой воды необходимости в гидроизоляции нет.

На сегодняшний день строгие стандарты по проведению испытаний резервуаров, так как любой не учтенный дефект может привести к серьезным последствиям. К примеру, необходимо строго соблюдать уровень давления, при разгерметизации в данном случае может возникнуть авария [2].

Для того, чтобы выявить неисправности резервуара в процессе эксплуатации на сегодняшний день наблюдается множество способов неразрушающего контроля сварных соединений. В данном случае дефекты могут появиться из-за смены условий, нагрузок, сверхдлительной эксплуатации. В основном дефекты проявляются в виде коррозии или нарушения геометрической формы резервуара.

Таким образом, производить испытание резервуаров до эксплуатации необходимо для того, чтобы обнаружить возможные дефекты и неисправности, возникшие в процессе металлургии и монтажных работ. Кроме того, следует осуществлять периодический контроль сварных соединений для исключения появления дефектов в виде коррозии или нарушения геометрической формы.

Грунтовую засыпку выполняют в расстоянии до 1 м от стены и слоем до 20 см по покрытию мягким грунтом без твердых включений с целью предотвращения повреждений асфальтовой гидроизоляции.

Обсыпку резервуара производят послойно, равномерно по всему периметру. Пазухи котлована уплотняют до коэффициента уплотнения 0,95. Подачу грунта производят равномерно концентрическими зонами от центра [3].

Толщина стены резервуара и плиты составляет 140 см, высота – 4340 см, диаметр резервуара – 9000 см.

### **Источники**

1. Радайкин О.В., Шарафутдинов Л.А. Усиление железобетонных балок сталефибробетоном с учетом предыстории нагружения // Промышленное гражданское строительство. 2023. № 2. С. 57-65.

2. Радайкин О.В., Шарафутдинов Л.А. Методика расчета прочности, трещиностойкости и жесткости железобетонных балок, усиленных сталефибробетоном, на основе нелинейной деформационной модели // Вестник гражданских инженеров. 2022. №5. С.37-53

3. Radaikin O, Sharafutdinov L. Reinforced concrete beams strengthened with steel fiber concrete // IOP conference series : Materials Science and Engineering. 2020. С.890

УДК 624.95

## ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО РЕЗЕРВУАРА

Мустафина Гульфия Равиловна

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Шарафутдинов Линар Альфредович

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

gulfia999@gmail.com

Данная статья посвящена разработке программы численного эксперимента железобетонного резервуара с варьированием определенных факторов, влияющих на прочность элемента.

**Ключевые слова:** цилиндрический резервуар, прочность, коррозия, толщина, плита, фундамент.

## ASSESSMENT OF THE STRENGTH OF A REINFORCED CONCRETE TANK

Mustafina Gulfiya R.

Scientific advisor Sharafutdinov Linar A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

gulfia999@gmail.com

This article is devoted to the development of a numerical experiment program for a reinforced concrete tank with a variation of certain factors affecting the strength of the element.

**Keywords:** cylindrical tank, strength, corrosion, thickness, plate, foundation.

Перед тем как ввести в эксплуатацию резервуар необходимо его обследовать на соответствие необходимым требованиям нормативных документов и проекта [1,2].

Кроме того, для раннего предотвращения возможных аварийных ситуаций важно производить своевременную оценку прочности резервуара. В данной статье произведен начальный этап по оценке прочности железобетонного резервуара. С целью выполнения всех необходимых работ была разработана программа численного эксперимента, в которую входят такие факторы, как: разрушение защитного слоя, коррозия арматуры, снижение прочности бетона и изменение геометрических факторов (таблица 1, 2) [3].

Таблица 1

## Интервалы варьирования для исследуемых факторов влияния

№ п/п	Фактор	Резервуар	Базовый образец
Факторы повреждения			
1.	Разрушение защитного слоя колонны а, мм	40; 20; 0	0
2.	Коррозия арматуры, %	40; 20; 0	0
3.	Прочность бетона, В	В15; В10; В5	В15
Геометрический фактор			
1	Изменение толщины стенки, $t_{ст}$	140, 120, 100	140
2	Изменение толщины плиты покрытия, $t_{пл}$	140, 120, 100	140
3	Изменение толщины фундаментной плиты, $t_{фпл}$	140, 120, 100	140

Таблица 2

## Программа численных исследований

Серия	Параметры					
	а, мм	%	В, МПа	t, мм	$t_{пл}$	$t_{фпл}$
	1	2	3	4	5	6
Р-1	0	0	В15	140	140	140
Б-2	20	0	В15	140	140	140
Б-3	40	0	В15	140	140	140
Б-4	0	20	В15	140	140	140
Б-5	0	40	В15	140	140	140
Б-6	0	0	В10	140	140	140
Б-7	0	0	В5	140	140	140
Б-8	0	0	В15	120	140	140
Б-9	0	0	В15	100	140	140
Б-10	0	0	В15	140	120	140
Б-11	0	0	В15	140	100	140
Б-12	0	0	В15	140	140	120
Б-13	0	0	В15	140	140	100

### Источники

1. СП 360.1325800.2017. Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования. Москва: Стандартинформ, 2018. 74 с.
2. Радайкин, О. В. Экспериментальные исследования железобетонных балок, усиленных сталефибробетонной рубашкой / О. В. Радайкин, Л. А. Шарафутдинов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 3. – С. 34-45.
3. Радайкин, О. В. К оценке совместного влияния начальных напряжённо-деформированного состояния и силовых трещин на прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных балок, усиливаемых сталефибробетонной "рубашкой", на основе компьютерного моделирования в ПК "ANSYS" / О. В. Радайкин, Л. А. Шарафутдинов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – № 1(47). – С. 155-165.

УДК 66.074.2

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ СЕПАРАТОР С НАКЛОННЫМИ ПЛАСТИНАМИ

Насырова Илюза Ильшатовна

Науч. рук. к.т.н., доцент Бальзамов Д.С.

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

<sup>1</sup>iyuza2001@mail.ru

Для повышения эффективности работы энергетических предприятий предлагается использовать инновационный энергоэффективный сепаратор с наклонной пластиной. На основе разработанной твердотельной модели сепаратора проведены исследования, которые показали, что угол наклона пластин и скорость газа на входе имеют значительное влияние на эффективность процесса сепарации. Благодаря увеличению угла наклона пластин улучшается отделение мелкодисперсных частиц из газовой среды.

**Ключевые слова:** сепарация, наклонные пластины, энергоэффективный сепаратор, мелкодисперсные частицы, запыленный газовый поток.

# ENERGY-EFFICIENT SEPARATOR WITH INCLINED PLATES

Nasyrova Ilyuza I.

Scientific advisor Balsamov D.S.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>iyuza2001@mail.ru

To improve the efficiency of energy enterprises, it is proposed to use an innovative energy-efficient separator with an inclined plate. Based on the developed solid-state separator model, studies have been conducted that have shown that the angle of inclination of the plates and the gas velocity at the inlet have a significant impact on the efficiency of the separation process. By increasing the angle of inclination of the plates, the separation of fine particles from the gas medium is improved.

**Keywords:** separation, inclined plates, energy-efficient separator, fine particles, dusty gas flow.

На современных энергетических предприятиях широко внедряются новейшие экологические технологии, цель которых - уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Одной из таких передовых разработок является применение пылеулавливающих аппаратов, которые значительно уменьшают выбросы вредных веществ в атмосферу в ходе процессов производства и использования энергии [1].

Газоочистные системы на энергетических предприятиях применяют один из пяти современных методов улавливания твердых частиц из воздушного потока, включая гравитационные устройства, инерционные системы, контактные фильтры, электрические пылеуловители и высокоэффективные фильтры. Обычно крупные частицы удаляются в процессе грубой очистки, а затем мелкие частицы уловимые в процессе тонкой очистки [2]. Однако существующие устройства грубой очистки характеризуются недостаточной эффективностью, а аппараты тонкой очистки страдают от засорения, сокращая их срок службы. Данный факт ставит перед энергетическими предприятиями новую задачу – продление срока службы аппаратов тонкой очистки.

Для улучшения производительности энергетических предприятий предлагается использовать энергоэффективный сепаратор с наклонной пластины. Для оптимизации работы этого устройства необходимо провести исследование влияния различных параметров, включая конструктивные, технологические и теплофизические, на его эффективность и сопротивление потока [3]. Наша задача состоит в



изучении влияния угла наклона пластин на работу сепаратора и определении оптимальных параметров для повышения эффективности его функционирования.

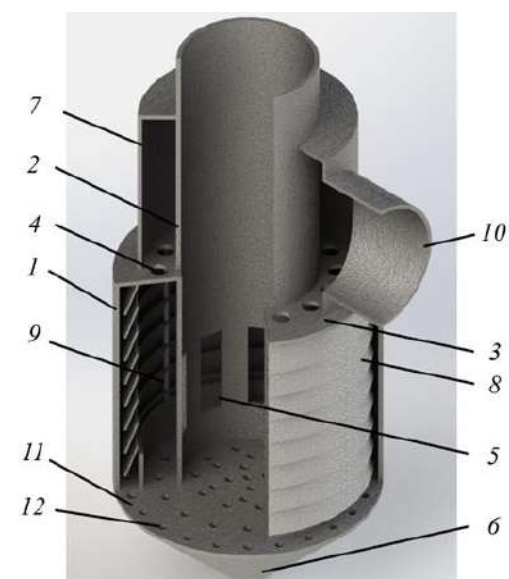


Рис.1. – Трехмерная модель энергоэффективного сепаратора с наклонными пластинами: 1 – корпус; 2 – труба входа; 3 – экран; 4 – отверстия; 5 – прямоугольные щели; 6 – бункер; 7 – осевая труба; 8 – наклонные пластины; 9 – шпильки; 10 – выходной патрубок; 11 – днище; 12 – круглые отверстия

В исследовании было применено численное моделирование в программном комплексе Ansys Fluent для изучения эффективности сепаратора с наклонной пластиной. Разработанная твердотельная модель позволила создать проточную область, состоящую из множества полиэдрических элементов [4]. Для анализа была использована модель турбулентности  $k-\omega$  SST.

Для определения эффективности сепаратора с наклонной пластиной использовалась специальная формула, которая учитывает количество мелкодисперсных частиц, оставшихся в газовом потоке после прохождения через устройство:

$$E = 1 - \frac{n_k}{n}, \quad (1)$$

где  $n_k$  – количество мелкодисперсных частиц, оставшихся в потоке газа, выходящем из сепаратора с наклонными пластинами;  $n$  – общее количество мелкодисперсных частиц, поступивших в устройство.

В результате исследования было установлено, что эффективность сепарации мелкодисперсных частиц из газа зависит от угла наклона

пластин и скорости газа на входе. Повышение угла наклона пластин способствует увеличению эффективности сепарации, так как обеспечивается формирование оптимального восходящего потока, который эффективно отделяет частицы от газа и предотвращает их унос из сепаратора.

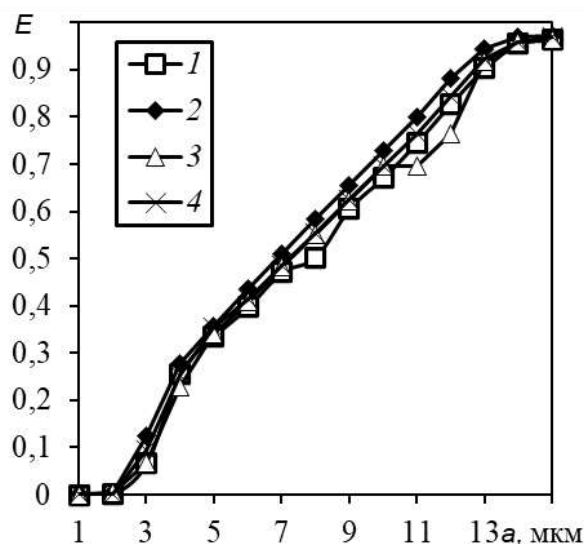


Рис. 2 – Зависимость эффективности сепаратора с наклонной пластиной от диаметра частиц при различном угле наклонных пластин: 1 – 20 градусов; 2 – 30 градусов; 3 – 45 градусов; 4 – 60 градусов. Плотность частиц  $2500 \text{ кг/м}^3$ , входная скорость газового потока  $10 \text{ м/с}$

Эффективность энергоэффективного сепаратора с наклонными пластинами составляет в среднем 45, 47, 50 и 55 % при отклонении угла наклонной пластины 20, 30, 45, 60 градусов соответственно. При этом скорость газа на входе в сепаратор составляет  $10 \text{ м/с}$ , размер частиц изменялся от 1 до 15 мкм (рис.2).

Опираясь на результаты исследования, можем утверждать следующее: при создании сепаратора следует стремиться к увеличению угла отклонения пластин. Это помогает предотвратить унос мелкодисперсных частиц из устройства и повысить эффективность сепарации частиц из запыленной среды.

### Источники

1. Ахметшин, М.Р. Антропогенные газовые выбросы при сжигании суспензионных топлив и отходов нефтепереработки / М.Р. Ахметшин, Г.С. Няшина, В.В. Медведев // Кокс и химия. – 2021. – № 4. – С. 36-43.

2. 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 [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24, № 5. – С. 3-12.

3. Сепарационное устройство с соосно расположенными трубами для разделения водонефтяных эмульсий / А. Р. Галимова, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, В. В. Харьков // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 50-54.

4. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Н. Ф. Сахибгареев [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24, № 12. – С. 128-132.

УДК 65.01

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОСТЕКЛЕНИЕ

Дорожкин Алексей Дмитриевич, Попова Любовь Андреевна, Ламонов Атрём Сергеевич  
Науч. рук. ассистент Кижин Вадим Владиславович,  
ст. преподаватель Латушкина Светлана Викторовна  
ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск, Россия  
ferbs436@gmail.com, l\_popova03@mail.ru, artemla0345@mail.com

В данной статье проведены исследования покрытия для стекол и обогревателей межстекольного пространства, работающих от альтернативного источника возобновляемой энергии. Перспективы использования энергоэффективного остекления для снижения энергозатрат на электроэнергию. Также был определён коэффициент полезного действия покрытий и представлено сравнение эффективности покрытий для окон.

**Ключевые слова:** энергоэффективное остекление, коэффициент полезного действия, отопление помещений.

## ENERGY-EFFICIENT GLAZING

Dorozhkin Alexey D., Popova Lyubov A., Lamonov Artem S.

Scientific advisor Kizhin V.V., Latushkina S.V.

Bratsk State University, Bratsk, Russia

ferbs436@gmail.com, l\_popova03@mail.ru, artemla0345@mail.com

In this article, a study has been conducted on glass coatings and interglacial space heaters powered by an alternative renewable energy source. The prospects of using energy-efficient glazing to reduce energy consumption for electricity. The efficiency of coatings was also determined and a comparison of the effectiveness of coatings for windows was presented.

**Keywords:** energy-efficient glazing, efficiency factor, room heating.

Витражное остекление является одним из популярных форм фасада в строительстве благодаря повышенной светопрозрачности, стиливой эстетике, экологической безопасности и т.д., наличие этих и других преимуществ делает витражное остекление актуальным решением и в наше время. Однако традиционные способы сохранения тепла через витражное остекление теряют свою актуальность. Герметики и уплотнители теряют свои герметизирующие свойства, что приводит к появлению сквозняков и теплопотерь [1].

В рамках акселерационной программы «лаборатория энергетики 2023г.», проводимой компанией МКОО «ЭН+ ХОЛДИНГ», была проведена работа по поиску методов по улучшению энергоэффективного остекления, включающая в себя анализ покрытий и обогревателей межстекольного пространства, работающих от альтернативного источника возобновляемой энергии, и в качестве объекта исследования была предложена фасадная часть с витражным остеклением АО «Красноярской ГЭС», представленная на рисунке 1.



Рис. 1. АО «Красноярская ГЭС»

Энергоэффективное остекление – это один из способов уменьшения затрат на топливно-энергетические ресурсы и повышение эффективности. Оно существенно позволяет сократить потребление энергии на отопление помещений зимой и на вентиляцию в летний период.

Кроме того, энергоэффективное остекление способствует улучшению звукоизоляции помещения, защищает от ультрафиолетового излучения, пыли и шума с улицы [2].

Основываясь на техническом задании, сроках эксплуатации, состоянии на сегодняшний день, сложности реконструкции, а также в связи с высокими теплотерями, приводящие к большим затратам на отопление помещения машинного зала, нами было предложено наиболее оптимальное решение.

Целью данной работы является:

1. Значительное сокращение энергопотребления здания;
2. Снижение затрат на отопление зимой и кондиционирование летом;
3. Уменьшение утечки тепла и предотвращение проникновения холодного воздуха.

В процессе анализа нами были рассмотрены наиболее эффективные способы сокращения инфильтрационных потерь тепла через остекление:

1. Замена оконных рам – являются легким решением, который увеличивает сопротивление теплопередачи, прочность, теплоизоляцию и долговечность, но финансово затратным.

2. Энергосберегающая плёнка- предотвращает потерю тепла в зимний период и отражение солнечного тепла в летний период года, что можно увидеть на рисунке 2.

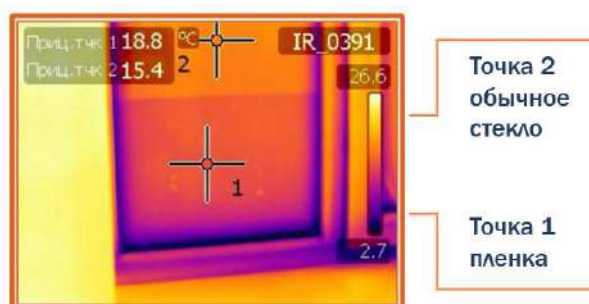


Рис. 2. Термограмма исследуемого остекления

3. Электрические обогревательные нити - являются эффективным способом снижения теплотерь через остекление, обеспечивающие комфортную температуру поверхности остекления в холодное время года(на рисунке 3).

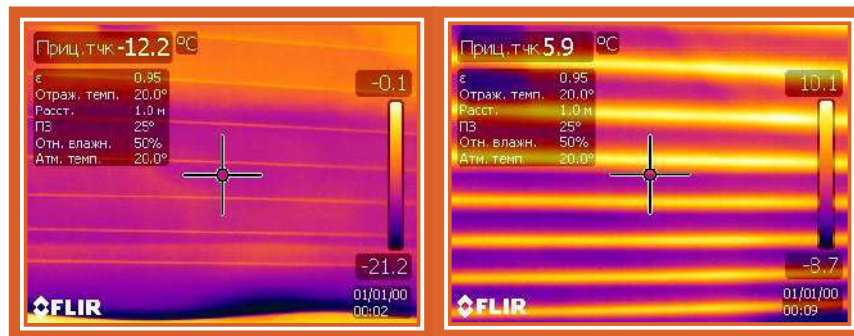


Рис. 3. Термограмма с обогревательными нитями

4. Альтернативный способ, набирающий популярность, это утилизация низкопотенциального тепла, вырабатываемого майнинговым оборудованием (рисунок 4), с целью обогрева межстекольного пространства, а также снижаются нагрузки на систему отопления.



Рис. 4. Термограмма майнингового оборудования

5. Герметизация неплотностей - является основным способом устранения «мостов холода», что позволяет снизить инфильтрационные потери теплоты оконных рам и витражей пенополиуретановым утеплителем.

Ни один из выше предложенных вариантов не удовлетворяет требования заказчика. Для достижения поставленной цели нами был предложен комбинированный вариант: герметизация неплотностей с энергосберегающей пленкой, что суммарно позволяет снизить теплопотери более чем на 50%. Техничко-экономический анализ показал, что с наибольшими материальными и трудовыми затратами является замена остекления в районе 40 млн.руб., а с наименьшими затратами являются энергосберегающая пленка и герметизация неплотностей около 5 млн.руб.

Таким образом, энергоэффективное остекление играет важную роль в современной архитектуре и строительстве, обеспечивая комфортное пребывание людей в зданиях и снижение нагрузки на окружающую среду. Внедрение таких технологий способствует экономии ресурсов и снижению

эксплуатационных расходов, что делает его актуальным и востребованным решением.

### **Источники**

1. Дворецкий А.Т., Спиридонов А.В., Шубин И.Л. Низкоэнергетические здания: окна, фасады, солнцезащита, энергоэффективность – Директмедиа Паблишинг, 2022г.

2. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016г.

УДК 536.24:532.5

## **ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ТЕПЛООТДАЧУ ЧЕРЕЗ ПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ ИЗ МЕЛАМИНА**

Сабирова Юлия Фанисовна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Хайбуллина Айгуль Ильгизаровна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
julia.sabirova01@list.ru

В данной работе приведены результаты эксперимента влияния коэффициента гидравлического сопротивления на теплоотдачу, данные результаты показывают, что при увеличении образцов пористых сред из меламин, увеличивается гидравлическое сопротивление, благодаря чему происходит более эффективный теплообмен в канале.

**Ключевые слова:** меламин, теплоотдача, пористый материал, гидравлическое сопротивление, пенополиуретан.

## **THE EFFECT OF THE COEFFICIENT OF HYDRAULIC RESISTANCE ON HEAT TRANSFER THROUGH A POROUS MELAMINE MATERIAL**

Sabirova Julia F.

Scientific advisor Khaibullina A.I.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
julia.sabirova01@list.ru

In this paper, the results of the experiment of the influence of the coefficient of hydraulic resistance on heat transfer are presented, these results show that with an increase in samples of porous media made of melamine, the hydraulic resistance increases, which results in a more efficient heat exchange in the channel.

**Keywords:** melamine, heat transfer, porous material, hydraulic resistance, polyurethane foam.

Благодаря низкой теплопроводности, высокой пористости, трехмерной (3D) структуре пор, высокому содержанию азота и превосходным механическим свойствам меламиновый пористый материал широко используется в качестве основного материала для получения трехмерных пористых сред. Исходя из физических свойств этих материалов, они могут быть использованы для различных целей в энергетических системах [1-3].

Падение давления, режимы течения и переход от одного к другому необходимы для любого применения, связанного с течением жидкости через пористый материал, а также для скоростей теплоотдачи или скорости реакции.

Учитывая, что в изученной литературе отсутствуют данные о влиянии гидравлического сопротивления на теплоотдачу в канале, заполненным пористой средой из меламина, проведено шесть экспериментов. Каждый эксперимент представляет, как длина пористой вставки влияет на гидравлическое сопротивление.

Перепад давления измеряли с помощью датчика перепада давления ПРОМА-ИДМ-ДД-6, подключенного к каналу на входе и выходе испытываемой пены. Данные с датчиков записывались с помощью системы сбора данных на ноутбуке.

При измерении перепада давления нагрев не использовался; температура воздуха на входе составляла 25-30 °С. Скорость воздушного потока плавно увеличивали с шагом примерно 2 м<sup>3</sup>/ч с 7 до 30 м<sup>3</sup>/ч и измеряли перепад давления на входе и выходе образца. Эксперимент проводился для 8 различных расходов при длине 0,15 м, перепад давления фиксировался каждые 40 секунд 7 раз.

Массовый расход воздушного потока вычисляется по формуле (1)

$$G = \frac{F_V \cdot \rho_{inlet}}{S \cdot 3600} \quad (1)$$

Скорость воздушного потока вычисляется по формуле (2):



$$v = \frac{F_V}{3600 \cdot S} \quad (2)$$

Тепловой поток вычисляется по формуле (3):

$$Q = \frac{F_V}{3600} \cdot \rho_{cp} \cdot \Delta t \cdot C \quad (3)$$

Коэффициент теплоотдачи вычисляется по формуле (4):

$$\alpha = \frac{Q}{F \cdot \Delta t} \quad (4)$$

Полученные экспериментальные данные сравниваются с исследованиями из пенополиуретана на рисунке 1.

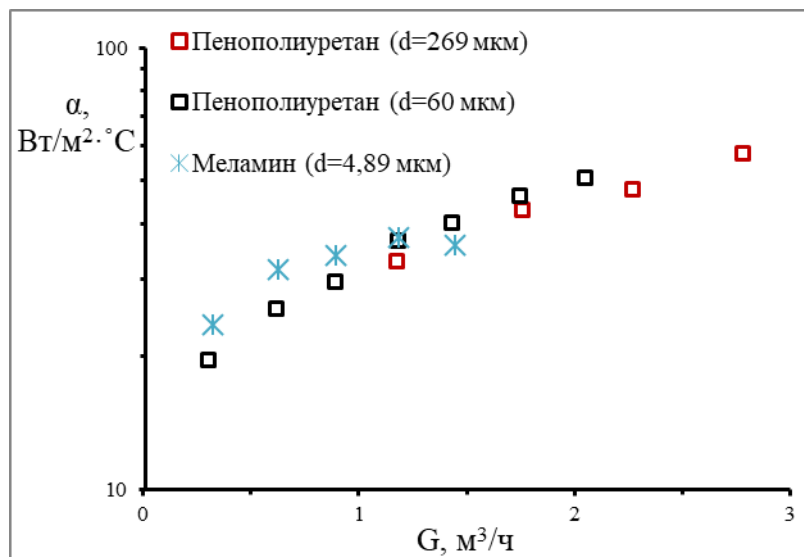


Рис. 1. График зависимости коэффициента теплоотдачи от расхода воздушного потока при разных материалах и диаметров филамент

Влияние пористости на показатели теплоотдачи полиуретановых и меламиновых пористых сред показано на рисунке 1, где общий коэффициент теплоотдачи рассчитан в зависимости от скорости воздушной массы. По-видимому, как для образцов меламина, так и для пенополиуретана эффективность теплоотдачи улучшается при увеличении диаметра филамента. Кроме того, результаты, представленные на графике,

показывают, что в силу похожего материала, точки меламиновой и полиуретановой пористой среды находятся практически рядом. Также это говорит о правильности проведения эксперимента и расчетов для теплопередачи.

### **Источники**

1. Nemanič V. et al. Synthesis and characterization of melamine–formaldehyde rigid foams for vacuum thermal insulation //Applied energy. – 2014. – Т. 114. – С. 320-326.

2. Oribayo O. et al. Modification of formaldehyde-melamine-sodium bisulfite copolymer foam and its application as effective sorbents for clean up of oil spills //Chemical Engineering Science. – 2017. – Т. 160. – С. 384-395.

3. Bağcı Ö., Dukhan N. Experimental hydrodynamics of high-porosity metal foam: Effect of pore density //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2016. – Т. 103. – С. 879-885.

УДК 621.165

## **ОХЛАЖДЕНИЕ ГАЗОВ ВОДОЙ С РЕГУЛЯРНЫМИ НАСАДКАМИ**

Фадеева Ксения Аркадьевна<sup>1</sup>, Шамбина Дарья Андреевна<sup>2</sup>

Науч. рук. к.т.н., доцент Лаптева Елена Анатольевна

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>ksenia\_fadeeva17@icloud.com, <sup>2</sup>daschka2001@bk.ru

В статье исследуется процесс охлаждения газов с использованием воды и нестандартных насадок, а также рассматривают регулярные насадки и разные их виды.

**Ключевые слова:** охлаждение газов водой, регулярная насадка, споловая насадка, рядная насадка, факельная насадка, импульсные насадки.

## **GAS COOLING WITH WATER WITH REGULAR NOZZLES**

Fadeeva Ksenia A. <sup>1</sup>, Shambina Daria A. <sup>2</sup>

Scientific advisor Lapteva Elena A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>ksenia\_fadeeva17@icloud.com, <sup>2</sup>daschka2001@bk.ru

The article examines the process of cooling gases using water and non-standard nozzles, as well as considers regular nozzles and their different types.

**Keywords:** gas cooling with water, regular nozzle, split nozzle, in-line nozzle, flare nozzle, pulse nozzles.

Охлаждение газов водой является одним из методов для снижения их температуры. В данном процессе газовая среда проходит через специальную систему, где ей сообщается тепло, которое затем извлекается с помощью воды [1].

Процесс охлаждения газов водой может быть осуществлен в различных системах и устройствах, таких как конденсаторы, испарители или охладители. Вода может быть направлена через трубки или пустоты в данном устройстве, чтобы охладить газы в процессе их перемещения. Этот метод особенно эффективен при использовании в больших системах или в промышленных установках, где требуется охлаждение больших объемов газов.

Охлаждение газов водой также может быть использовано для дополнительного удаления влаги или других нежелательных примесей из газовой среды. При охлаждении газа его влага может конденсироваться и собираться в жидкую форму, что позволяет ее легко удалить или отделить от основной газовой смеси. Это особенно важно во многих процессах, таких как производство или очистка газов [2].

Для охлаждения воды, могут использоваться различные типы насадок. От выбора правильной насадки зависят эффективность и энергоэффективность процесса охлаждения. Рассмотрим несколько основных типов насадок, которые часто используются в градирнях.

Регулярные насадки для охлаждения воды на градирне - это специальные устройства, используемые для эффективного снижения температуры воды в процессе охлаждения воздуха или других сред. Они широко применяются в промышленности, энергетике и кондиционировании воздуха [3].

Основным принципом работы регулярных насадок является разбрызгивание воды на специальные плиты или сетки, через которые проходит горячий воздух или среда, которую необходимо охладить. В результате этого процесса вода испаряется, поглощая тепло из окружающей среды, и тем самым снижает температуру воздуха или среды.

Существует несколько видов регулярных насадок, используемых для охлаждения воды:

Сопловые насадки: это насадки, состоящие из множества отверстий разного диаметра. Они создают распыление воды в виде ленты или шторы, которая покрывает охлаждающий элемент. Сопловые насадки обеспечивают равномерное распределение воды, хорошую проницаемость и малое образование преград для воздушного потока.

Рядные насадки: это насадки, состоящие из ряда небольших отверстий, расположенных вдоль панели. Они создают ряд капель или струй, которые падают на заполнитель. Рядные насадки позволяют более равномерно распределить воду и обеспечить хорошее покрытие заполнителя.

Факельные насадки: эти насадки имеют форму факела или конуса с отверстиями, расположенными по всей поверхности. Они создают распыление воды в виде конического потока. Факельные насадки обеспечивают равномерное и плотное распределение воды, а также возможность регулировки угла направления потока.

Импульсные насадки: эти насадки имеют специальное конструктивное решение, позволяющее создавать импульсный фонтан воды. Они обеспечивают эффективное перемешивание воды и воздуха, повышение теплоотдачи.

Регулярные насадки обладают рядом преимуществ по сравнению с другими системами охлаждения, такими как конденсаторы, испарители и другие. Во-первых, они не требуют большого количества энергии для работы и экономичны в использовании. Во-вторых, они предоставляют возможность регулирования объема подаваемой воды, что позволяет достичь оптимальной эффективности охлаждения. Также, регулярные насадки обладают простой конструкцией и не требуют сложного обслуживания [4].

Однако, при использовании регулярных насадок необходимо учитывать некоторые факторы. Например, необходимость поддержания чистоты воды и системы охлаждения для предотвращения образования накипи и других отложений. Также, насадки требуют правильной установки и настройки для достижения оптимальной работы [5].

В заключение, регулярные насадки для охлаждения воды - это полезные и эффективные устройства, которые помогают снизить температуру воздуха или среды в промышленных процессах [6]. Они являются энергоэффективными, экономичными и простыми в использовании. Однако, перед использованием таких насадок необходимо учитывать определенные факторы и подобрать оптимальную конфигурацию для достижения наилучших результатов [7].

### **Источники**

1. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. М. // Мир, 1983. 512с.

2. Кейс Б.М. Конвективный тепло- и массообмен. М.// Энергия, 1972. 446с.
3. William F Stowasser, Keith A Miller. Water cooling method and apparatus employing liquid nitrogen//Air Products and Chemicals Inc, 1970
4. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление (справочное пособие). М. //Энергоатомиздат, 1990. 366с.
5. Методика и зависимости для теоретического расчета теплообмена и гидравлического сопротивления теплообменного оборудования АЭС (руководящий технический материал 24.031.05-72). М.// Минтяжэнерготранс, 1972. 125с.
6. Лыков А.В. Тепломассообмен. Справочник. М. //Энергия, 1972. 560с.
7. Соловьева О. В.// Разработка новых моделей пористых теплообменников с повышенной энергоэффективностью на основе численного моделирования и экспериментальных исследований, 2024

УДК 624.012.45

## **НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕН ЗДАНИЙ**

Хнычева Надежда Вячеславовна<sup>1</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук Радайкин Олег Валерьевич<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>vartsk@gmail.com, <sup>2</sup>olegxxii@mail.ru

В статье приводится анализ существующих инженерных методик расчёта прочности железобетонных монолитных стен гражданских зданий. Сделан вывод, что ни одна из методик, в силу принятых упрощений, не обладает необходимой полнотой расчётных параметров и зависимостей их связывающей, чтобы охватить весь спектр решений задач, возникающих при реальном проектировании. Следствием заложенных упрощений и ограничений нормативного подхода является неоправданно высокий запас прочности монолитных стен и высокий расход арматуры. Выходом из сложившейся ситуации видится применение компьютерного моделирования стен в трёхмерной постановке с учётом физической нелинейности материалов и анизотропии железобетона.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции, монолитные стены, методика расчета, прочность.

# STRESS-STRAIN STATE OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE WALLS OF BUILDINGS

Khnycheva Nadezhda V.

Scientific advisor Radaykin Oleg V.<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>vartsk@mail.ru, <sup>2</sup>olegxxii@mail.ru

The article provides an analysis of existing engineering methods for calculating the strength of reinforced concrete monolithic walls of civil buildings. It is concluded that none of the methods, due to the accepted simplifications, has the necessary completeness of the calculated parameters and their binding dependencies in order to cover the entire range of solutions to problems arising in real design. The consequence of simplifications and limitations of the regulatory approach is an unreasonably high margin of safety of monolithic walls and high reinforcement consumption. The way out of this situation is the use of computer modeling of walls in a three-dimensional formulation, taking into account the physical nonlinearity of materials and the anisotropy of reinforced concrete.

**Keywords:** reinforced concrete structures, monolithic walls, calculation methods, strength.

Железобетонные монолитные стены – это характерный элемент любого современного здания, которые органично применяются в качестве как ограждающих, так и несущих элементов, в том числе, выполняя функции диафрагм жёсткости.

Традиционно в инженерных расчётах НДС монолитных стен определяется как для стержневого либо, что гораздо реже, как для плоскостного элемента, в результате чего не учитывается 30-50 % полезной информации о напряжениях и деформациях, если смотреть с точки зрения полноты объёмной трёхмерной задачи МТДТ. Такие идеализированные и упрощённые расчётные модели, построенные на ограниченных экспериментальных выборках, дают неприемлемо высокую погрешность. Эмпирические коэффициенты, используемые в формулах, лишь несколько приближают расчётные данные к действительной картине.

Например, в СП63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» [1], выполняя расчёт по прочности стен в общем случае, следует рассматривать стену как плоский выделенный элемент (см. рис.) при совместном действии нормальных сил, изгибающих моментов, крутящих моментов, сдвигающих сил, поперечных сил, приложенных по боковым сторонам плоского выделенного элемента.

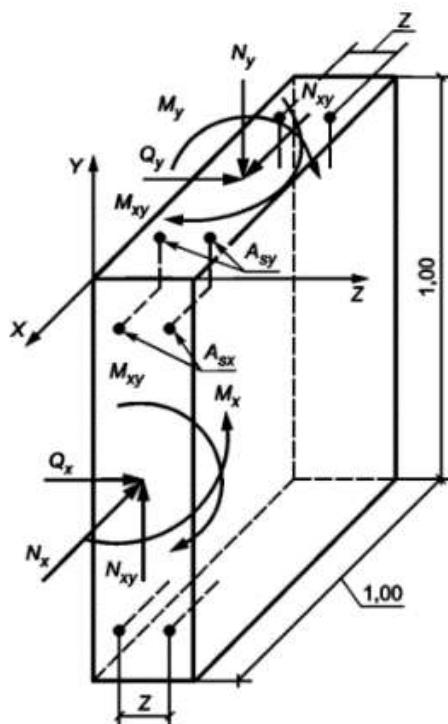


Схема усилий, действующих на выделенный плоский элемент единичной ширины стены

Как будет видно по нижеследующим формулам этого норматива, приведённые в предыдущем абзаце рекомендации – есть всего лишь благонамеренные пожелания, не подкреплённые соответствующей методической базой.

Расчет стены в своей плоскости строится на обобщённых уравнениях предельного равновесия:

$$(N_{x,ult} - N_x)(N_{y,ult} - N_y) - N_{xy}^2 \geq 0; \quad (1)$$

$$N_{x,ult} \geq N_x; \quad (2)$$

$$N_{y,ult} \geq N_y; \quad (3)$$

$$N_{xy,ult} \geq N_{xy}. \quad (4)$$

где  $N_x$ ,  $N_y$  и  $N_{xy}$  – нормальные и сдвигающие силы, действующие по боковым сторонам плоского выделенного элемента;

$N_{x,ult}$ ,  $N_{y,ult}$  и  $N_{xy,ult}$  – предельные нормальные и сдвигающие силы, воспринимаемые плоским выделенным элементом.

Значения предельных нормальных сил  $N_{x,ult}$  и  $N_{y,ult}$  следует определять согласно п. 8.1.14 – 8.1.19 [1]. Но, несмотря на ссылки, в этих пунктах формулы для определения величин  $N_{x,ult}$ ,  $N_{y,ult}$  и  $N_{xy,ult}$  отсутствуют. И в целом в формулах (1-4) не учитывается влияние поперечных сил, а также изгибающих моментов. Последнее – весьма странно.

Проверку прочности стены по Пособию к СП63.13330[2] производят уже с учётом изгибающего момента – как для в нецентренно-сжатого элемента из условия:

$$M \leq R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5 \cdot x) + (R_{sc} A_s - \frac{N}{2}) \cdot (h_0 - a'). \quad (5)$$

И в отличие от формул (1-4) влияние нагрузок в перпендикулярном направлении не учитывается.

Расчёт стен по Пособию «Проектирования жилых зданий. Вып.3 Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85)» [3] следует проверять продольные и поперечные сечения стен. При нахождении изгибающих моментов, отрезки стен рассматриваются как консольные балки. Горизонтальные сечения элемента анализируют расчётом по прочности и трещиностойкости. Вертикальные соединения определяют расчетом по прочности и раскрытию трещин. По п.5.14[3] для расчёта прочности стен из плоскости здания извлекают вертикальные элементы (столбы), состоящие из расположенных друг над другом и ограничены по вертикали отверстиями и соединениями сборных элементов стены.

По ACI Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI\_318 - 19) [4] методика в целом схожа с [2]. По таблице 21.2.1 [4] применяются эмпирический коэффициент  $\phi$  снижения прочности элемента за счёт влияния продольного изгиба, возникающего в ходе деформирования стены под вертикальной нагрузкой.

В соответствии с EuroCod-2 «Проектирование железобетонных конструкций» [5] расчет железобетонных стен выполняется методом тяжей и распорок. Модель «распорки и тяжести» представлена из раскосов, отражающая траекторию сжимающих напряжений, тяжей, характеризующих арматуру, и концентрированных узлов. Поперечное напряжение снижают прочность бетонной стойки на сжатие до

$$F_{Rd} = 0,6 \cdot v' \cdot f_{cd} \cdot t \cdot a; \quad (6)$$



Усилие стяжки, которая передается на арматуру определяется по формуле:

$$A_s = T / f_{yd} ; \quad (7)$$

В данном методе соблюдается равновесие с приложенными нагрузками в предельном состоянии по несущей способности.

В отечественной литературе метод «распорок и тяжей» называется методом «каркасно-стержневого аналога (КСА)». О его особенностях можно почерпнуть в монографиях [6,7].

Выводы:

1. Ни одна из проанализированных в данной статье инженерных методик расчёта прочности железобетонных стен, в силу принятых упрощений, не обладает необходимой полнотой расчётных параметров и зависимостей их связывающих, чтобы подойти целостно и правдиво к решению задач, возникающих в реальном проектировании.

2. Следствием упрощений и ограничений нормативного подхода является перерасход армирования и в некоторых случаях переоценка сопротивляемости железобетона монолитных стен.

3. Путь решения проблемы, на наш взгляд, заключается в применении компьютерного моделирования стен в трёхмерной постановке с учётом физической нелинейности материалов и анизотропии железобетона.

### Источники

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва: Минстрой России, Стандартинформ, 2019. 143 с.

2. Расчет железобетонных конструкций без предварительно напряженной арматуры. Методическое пособие к СП 63.13330. Москва. 2015. 293 с.

3. Пособие по проектированию жилых зданий Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). Москва: Стройиздат, 1989. 304 с.

4. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19): An ACI Standard. ACI Committee 318 American Concrete Institute, 2019. 623 p.

5. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. Минск: Минстройархитектуры, 2010. 207 с.

6. Соколов Б.С. Прочность и трещиностойкость стеновых панелей зданий: монография. Москва: Изд-во АСВ, 2010.- 139с.

7. Баранова Т.И., Залесов А.С. Каркасно-стержневые расчётные модели и инженерные методы расчета железобетонных конструкций. Учебное пособие. – Москва: Изд-во АСВ, 2003. - 240 с.

УДК 621.1.016.4, 621.928.9

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ПЫЛИ В ПОРИСТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ**

Шакурова Розалина Зуфаровна

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доцент Соловьева Ольга Викторовна

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

i@rshakurova.ru

В работе представлены результаты численного исследования эффективности осаждения частиц пыли в моделях пористых теплообменников различной длины. Параметрические расчеты проведены для широкого диапазона размеров частиц пыли (от  $10^{-7}$  до  $10^{-4}$  м) при скоростях потока воздуха 1 и 5 м/с. Результаты расчетов представлены на графиках.

**Ключевые слова:** пористая среда, теплообменник, осаждение пыли, численное моделирование, системы охлаждения.

## **NUMERICAL STUDY OF DUST PARTICULATE DEPOSITION IN POROUS HEAT EXCHANGERS**

Shakurova Rozalina Z.

Scientific advisor Solovieva Olga V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

i@rshakurova.ru

Numerical investigation of the effectiveness of dust particle deposition in models of porous heat exchangers of various lengths is presented in this article. The parametric calculations were performed for a diverse range of dust particle sizes (from  $10^{-7}$  to  $10^{-4}$  mm) with air velocities ranging between 1 and 5 m/s. The calculation results are presented in graphs.

**Keywords:** porous media, heat exchanger, dust deposition, numerical modeling, cooling systems.

В последние годы возрастает интерес к применению металлических пен с открытыми порами в качестве теплообменников в системах охлаждения электроники [1,2]. В процессе эксплуатации теплообменники забиваются пылью [3], что приводит к уменьшению площади теплообмена и, как следствие, снижению эффективности охлаждения [4]. В результате могут наблюдаться сбои в работе электронного устройства вплоть до выхода из строя [5,6]. В программной среде ANSYS (v.19.2) проведено численное исследование эффективности осаждения частиц пыли в пористом теплообменнике. Решена задача обтекания пористого теплообменника потоком воздуха, содержащим частицы пыли с диаметрами  $d_{п}$ : от  $10^{-7}$  до  $10^{-4}$  м. Построены 3D-модели пористых сред (Рис. 1) с длиной  $d$ : от 5 до 30 мм. Расчеты проводились при скоростях потока воздуха  $v$ : 1 и 5 м/с. По результатам параметрических расчетов построены графики изменения эффективности осаждения (Рис.2), рассчитанной по формуле (1):

$$E = n_{осев} - n_{старт} , \quad (1)$$

где  $n_{осев}$  – количество осевших частиц пыли.

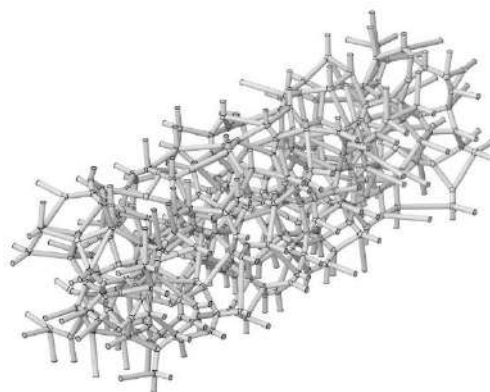


Рис. 1. 3D-модель высокопористого теплообменника при  $d=30$  мм.

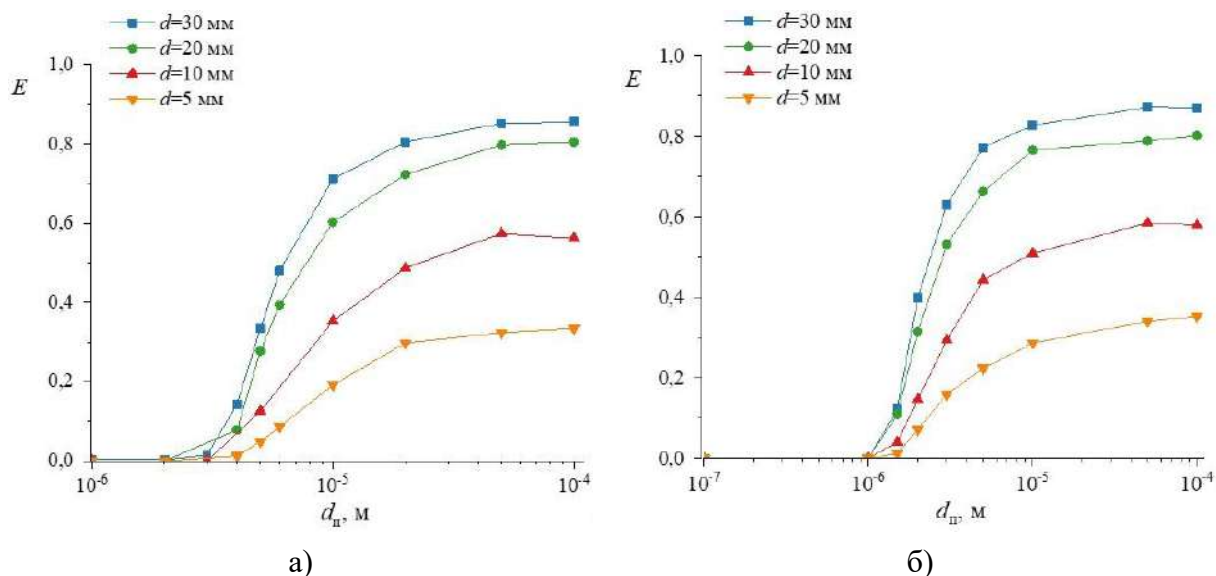


Рис. 2. Эффективность осаждения частиц пыли в пористых теплообменниках при скоростях потока воздуха: а) 1 м/с; б) 5 м/с.

Как мы видим из графиков, увеличение длины теплообменника способствует повышению эффективности осаждения частиц. Так, при  $v=5$  м/с эффективность осаждения частиц для теплообменников с длинами 30, 20, 10 и 5 мм составила 0,869; 0,8; 0,582 и 0,335 соответственно. Наибольшие значения эффективности осаждения достигаются в теплообменниках при длине  $d=30$  мм и на 8,62% превышают значения  $E$  при  $d=20$  мм, на 49,31% значения  $E$  при  $d=10$  мм и на 159,40% значения  $E$  при  $d=5$  мм. Высокие значения эффективности осаждения частиц означают, что в теплообменнике в процессе эксплуатации будет оседать большое количество пыли, забивая тем самым поры. В свою очередь, это обеспечит уменьшение площади теплообмена и повышение мощности, необходимой для прокачки воздуха через пористую среду. Теплообменник с длиной  $d=30$  мм собирает наибольшее количество пыли, что может привести к снижению его тепловых и гидравлических характеристик.

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, <https://rscf.ru/project/21-79-10406/>.

### Источники

1. Samudre P., Kailas S. V. Thermal performance enhancement in open-pore metal foam and foam-fin heat sinks for electronics cooling // Applied Thermal Engineering. 2022. Т. 205. С. 117885.

2. Izadi A., Siavashi M., Rasam H., Xiong Q. MHD enhanced nanofluid mediated heat transfer in porous metal for CPU cooling // Applied Thermal Engineering. 2020. T. 168. С. 114843.

3. Anuar F.S., Malayeri M.R., Hooman K. Particulate fouling and challenges of metal foam heat exchangers // Heat Transfer Engineering. 2017. Т. 38. №. 7-8. С. 730-742.

4. Liu Y. Mansir I.B., Dahari M., Nguyen X.P., Abbas M., Wae-hayee M. Improvement of cooling of a high heat flux CPU by employing a cooper foam and NEPCM/water suspension // Journal of Energy Storage. 2022. Т. 55. С. 105682.

5. Soloveva O., Solovev S., Golubev Y., Sabirov N. Study of the influence of fin-plate heat exchanger geometry on dust particle deposition and heat transfer based on numerical calculation // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2023. Т. 460. С. 07014.

6. Soloveva O. Solovev S., Shakurova R., Mustafaev T. Numerical simulation of dust particle deposition and heat transfer in fin-plate radiators // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2023. Т. 460. С. 08006.

УДК 621.165

## ОХЛАЖДЕНИЕ ГАЗОВ ВОДОЙ С НЕРЕГУЛЯРНЫМИ НАСАДКАМИ

Шамбина Дарья Андреевна<sup>1</sup>, Фадеева Ксения Аркадьевна<sup>2</sup>

Науч. рук. к.т.н., доцент Лаптева Елена Анатольевна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>daschka2001@bk.ru, <sup>2</sup>ksenia\_fadeeva17@icloud.com

В статье приведены исследует процесс охлаждения газов с использованием воды и нестандартных насадок, а также рассматривают нерегулярные насадки и разные их виды.

**Ключевые слова:** охлаждение газов водой, регулярная насадка, нерегулярная насадка, вихревые насадки, каскадные насадки.

## GAS COOLING WITH WATER WITH IRREGULAR NOZZLES

Shambina Darya A.<sup>1</sup>, Fadeeva Ksenia A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Lapteva Elena A.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>daschka2001@bk.ru, <sup>2</sup>ksenia\_fadeeva17@icloud.com

The article examines the process of cooling gases using water and non-standard nozzles, as well as considers irregular nozzles and their different types.

**Keywords:** gas cooling with water, regular nozzle, irregular nozzle, vortex nozzles, cascade nozzles.

Охлаждение газов водой осуществляется для уменьшения их температуры. Это может быть необходимо в различных процессах и промышленных установках, например, в холодильных системах, кондиционерах, отопительных системах или паровых турбинах.

Охлаждение газов водой имеет несколько преимуществ. Во-первых, вода является хорошим теплоносителем и обладает высокой теплоемкостью, что позволяет эффективно отводить тепло от газа. Во-вторых, вода доступна в больших объемах и является относительно дешевым ресурсом. В-третьих, охлаждение газов водой обычно происходит при атмосферном давлении, что упрощает процесс, по сравнению с использованием холодильных установок или специальных оборудований для охлаждения [1].

Однако, охлаждение газов водой имеет и некоторые недостатки. Во-первых, при контакте газа с водой может происходить конденсация или образование аэрозолей, что может привести к коррозии или загрязнению трубопроводной системы. Во-вторых, для эффективного охлаждения может потребоваться большой объем воды, что может быть проблематично в условиях ограниченных ресурсов или при нехватке воды [2].

Насадки для охлаждения воды разделяются на регулярные и нерегулярные. Регулярные насадки обладают прямоугольной или квадратной формой и имеют равномерно расположенные отверстия. Они часто используются в традиционных системах охлаждения и обеспечивают хорошую эффективность, но могут создавать проблемы с засорением отходами и образованием воздушных пузырей [3].

Нерегулярные насадки для охлаждения воды – это инновационные системы, которые используются для эффективного снижения температуры воды в промышленных процессах. Они широко применяются в градирнях, где требуется охлаждение больших объемов воды для поддержания оптимальной работы производственного оборудования.

Нерегулярные насадки отличаются от традиционных решеток и пластиковых насадок тем, что они имеют нетипичную форму, несимметричное размещение отверстий и изменяемую геометрию. Это

позволяет им создавать более равномерный и интенсивный поток воды, обеспечивая эффективное охлаждение.

В отличие от регулярных насадок, нерегулярные насадки для охлаждения воды имеют нестандартную форму и отличаются своими особыми конструктивными характеристиками. Они разработаны для более эффективного охлаждения воды и улучшенной перекачки воздуха. В зависимости от целей и требований системы, могут быть использованы различные виды нерегулярных насадок. Рассмотрим некоторые из них:

- Вихревые насадки: они обладают формой спирального вихря или улитки, что создает движение воды во вращательном потоке. Такие насадки особенно эффективны для охлаждения воды с высокой температурой.

- Каскадные насадки: они состоят из нескольких уровней с различными размерами отверстий. Когда вода проходит через эти уровни, происходит постепенное охлаждение и достижение оптимальной температуры.

- Специальные насадки: при разработке систем охлаждения могут быть использованы специальные насадки, которые созданы с учетом специфических требований и условий процесса. Например, это могут быть насадки с различным углом наклона или способом расположения отверстий [4].

Нерегулярные насадки для охлаждения воды предлагают ряд преимуществ перед регулярными. Они повышают эффективность охлаждения, уменьшают вероятность засорения системы и улучшают общую производительность установки. Также они могут быть адаптированы к специфическим условиям и требованиям процесса, что делает их более гибкими в использовании [5].

Преимущества нерегулярных насадок заключаются в повышенной эффективности охлаждения, снижении потребления энергии и воды, а также минимизации образования накипи и биологических отложений на поверхности насадок. Благодаря улучшенной гидродинамике и повышенной турбулентности потока, нерегулярные насадки способны эффективно охлаждать воду, даже если ее загрязненность высока.

Одной из последних разработок в области нерегулярных насадок является использование трехмерных печатных технологий для создания оптимальной формы насадок. Это позволяет более точно контролировать условия обтекания поверхности насадок в соответствии с требованиями процесса охлаждения [6].

В целом, нерегулярные насадки для охлаждения воды на градирне представляют собой перспективное направление развития в области эффективных систем охлаждения [7]. Их использование может привести к существенному повышению производительности и энергоэффективности промышленных процессов, а также снижению их негативного воздействия на окружающую среду.

### **Источники**

1. Гребер Г., Эрк С., Григуль У. Основы учения о теплообмене. М.// ИЛ, 1958. 566с.
2. Кутателадзе С.С., Баришанский В.М. Справочник по теплопередаче. М.ГЛ.//Госэнергоиздат, 1959. 414с.
3. Аверкин А. Г., Еремкин А. И., Миронов К. В. Устройство для охлаждения воды//ПГУАС, 2005
4. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. М.//Мир, 1983. 512с
5. Зейгарник Ю.А., Пикин М.А., Хохлов Л.К. Способы охлаждения сбросных высокотемпературных газов //Научно-технологический центр энергосберегающих процессов и установок, 1999
6. William F Stowasser, Keith A Miller. Water cooling method and apparatus employing liquid nitrogen//Air Products and Chemicals Inc, 1970
7. Соловьева О. В.// Разработка новых моделей пористых теплообменников с повышенной энергоэффективностью на основе численного моделирования и экспериментальных исследований, 2024



## Секция 5. Автоматизация технологических процессов и производств

УДК 681.516.32

### СИСТЕМА ДЫМОУДАЛЕНИЯ В УМНОМ ДОМЕ

Абзалов Даниил Булатович<sup>1</sup>, Горбов Валерий Юрьевич<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Богданова Наталия Владимировна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>esports\_707@mail.ru, <sup>2</sup>valera322gg@gmail.com

В статье рассмотрено применение системы дымоудаления в умном доме и описаны преимущества данного решения. Актуальность данного решения заключается в необходимости повышения пожарной безопасности в современных реалиях.

**Ключевые слова:** дымоудаление, умный дом, безопасность, интеграция, дым.

### SMOKE REMOVAL SYSTEM IN A SMART HOME

Abzalov Daniil B.<sup>1</sup>, Gorbov Valery Yu.<sup>2</sup>

Scientific advisor Bogdanova Natalia V.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>esports\_707@mail.ru, <sup>2</sup>valera322gg@gmail.com

The article discusses the use of a smoke extraction system in a smart home and describes the advantages of this solution. The relevance of this decision lies in the need to improve fire safety in modern realities.

**Keywords:** smoke removal, smart home, security, integration, smoke.

В современном мире с развитием технологий и повышением уровня комфорта, умные дома становятся все более популярными. Умный дом предлагает множество возможностей для автоматизации и контроля различных систем, включая систему дымоудаления [1]. Система дымоудаления в умном доме является неотъемлемой частью безопасности и защиты жильцов от пожара. Она предоставляет возможность оперативно обнаружить и эффективно бороться с выделяемыми дымовыми газами, возникающих при пожаре, которые в большинстве случаев являются причиной гибели. Интегрированная система дымоудаления в систему умного дома также позволит предупредить об этом жильцов, отправив им уведомление на их гаджет.

Система дымоудаления в умном доме работает на основе датчиков, которые монтируются чаще всего на потолке и реже на стенах помещений. Эти датчики постоянно мониторят уровень дыма и газов в воздухе. При обнаружении дыма или повышенного уровня газов, система автоматически активирует сигнализацию и предупреждает об опасности [2].

Преимущества умной системы дымоудаления очевидны. Данная система обеспечивает надежную защиту от пожара и отравления угарными газами, что является особенно важным в современных городах с их высокой плотностью населения. Благодаря своей автоматической реакции на опасность, система дымоудаления позволяет сэкономить время и предотвратить серьезные последствия.

Кроме того, умная система дымоудаления может быть интегрирована с другими устройствами и системами умного дома [3]. Например, в случае срабатывания пожарной сигнализации, система может автоматически отключить кондиционирование воздуха в помещении пользователя, но при этом не затрагивать системы, отвечающие за щитовое помещение, где должен быть соблюден свой микроклимат. Также в это время система должна включить аварийное освещение умного дома, закрыть все окна и фрамуги и запустить дымоудаление [4]. Помимо этого, система может отправить уведомление на мобильное устройство владельца дома, позволяя ему оперативно реагировать на возможную угрозу.

Одним из главных преимуществ умного дома является его способность "учиться" и адаптироваться к привычкам и потребностям владельца. Система дымоудаления не исключение. Она может анализировать данные, предоставлять полезную информацию и формировать отчеты о причинах возникновения дыма или газов. Например, система может предложить рекомендации по устранению проблемы, напомнить о необходимости проведения технического обслуживания или предложить оптимальные решения для повышения безопасности [5].

Конечно, стоит помнить, что система дымоудаления в умном доме не является панацеей от всех возможных угроз. Важно соблюдать правила пожарной безопасности, в которых сказано, как устанавливать, с какой периодичностью и каким образом проверять рабочее состояние датчиков, каким образом должна запускаться система и какие именно системы необходимо отключить. Также необходимо ответственно относиться к обучению членов семьи правилам эвакуации и действиям в случае возникновения пожара.

В целом, умный дом и система дымоудаления становятся

неотъемлемой частью современных технологий. Они обеспечивают безопасность и комфорт, освобождают владельца от лишних забот и позволяют сосредоточиться на других делах в своей жизни. Умный дом с интегрированной в него системой дымоудаления – это шаг вперед в будущее в повышении безопасности пользователя.

### **Источники**

1. Киселева А.А., Смирнов В.Д. Внедрение современных систем дымоудаления в производственных помещениях. // Техносферная безопасность. Омск, 2019. С. 104-106.

2. Фёдоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка. // Инфра-Инженерия. М, 2008. С. 929.

3. Петрищев А.И. Автоматизация и интеграция умных устройств в вентиляционные системы: повышение эффективности и энергосбережение. // Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития: сб. ст. Международ. Науч.-практ. Конф. Петрозаводск, 2023. С. 162-166.

4. Рябова В.И., Андреев А.А. Система дымоудаления в многоквартирном доме. // Научные горизонты. Белгород, 2019. № 9. С. 184-188.

5. Олейник А.Б., Хахина А.М. Система умный дом. // Заметки учёного. Ростов-на-Дону, 2022. С. 31-34.

УДК 681.5

## **ВНЕДРЕНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Ардеев Ильнур Ринатович

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Гильфанов Камиль Хабибович

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

ilnur.ardeev.2002@mail.ru

В данной научной статье рассмотрены тенденции внедрения робототехники в автоматизированные технические измерения. Проанализированы преимущества и вызовы данного симбиоза. Исследованы передовые технологии, такие как лазерные трекеры и мобильные координатоопределяющие системы, для повышения точности. Обобщены практические примеры использования антропоморфных роботов в прецизионной обработке материалов и позиционировании объектов. Выведены

основные выгоды ускорения процессов и повышения точности в автоматизированных технических измерениях.

**Ключевые слова:** робототехника, автоматизация, измерения, технологии, точность, интеграция, тенденции, преимущества, антропоморфные роботы.

## **IMPLEMENTATION OF ROBOTICS IN AUTOMATED TECHNICAL MEASUREMENT PROCESSES**

Ardeev Ilnur R.

Scientific advisor Gilfanov Kamil Kh.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Ilnur.ardeev.2002@mail.ru

This scientific article explores trends in integrating robotics into automated technical measurements. The advantages and challenges of this symbiosis are analyzed. Advanced technologies, such as laser trackers and mobile coordinate-determining systems, are investigated to enhance precision. Practical examples of using anthropomorphic robots in precision material processing and object positioning are summarized. The main benefits of accelerating processes and improving accuracy in automated technical measurements are outlined.

**Keywords:** robotics, automation, measurements, technologies, precision, integration, trends, advantages, anthropomorphic robots.

Современный технологический прогресс сопровождается стремительным развитием робототехники, открывая перед научным и инженерным сообществом безграничные перспективы в области автоматизации технических измерений. В контексте этих динамичных изменений, научные исследования на тему интеграции роботов в процессы автоматизированных измерений становятся неотъемлемой частью познания и оптимизации современных технических систем.

Автоматизация производственных процессов в сфере технических измерений с использованием робототехники предоставляет уникальные возможности для повышения точности и эффективности измерительных процессов. Однако интеграция роботов в эту область представляет сложную задачу, требующую учета разнообразных технических, методологических и организационных аспектов. Развитие производственных участков направлено на автоматизацию и интеграцию робототехнических систем, что активно влияет на сферу технических измерений. Роботы, совмещенные с передовыми технологиями, успешно

решают сложные задачи, которые ранее были вызовом для технической реализации.

В контексте инновационного развития производственных процессов применение робототехники активно выходит за рамки общепринятых решений, находя свое применение в различных сферах, таких как сборка, резка, фрезерование и сверление. Сущность этих задач требует высокой точности позиционирования инструмента и определения траектории движения, что традиционно обеспечивается заводской калибровкой роботов [1]. Однако, различные факторы, такие как расхождение параметров кинематической модели робота и фактических характеристик, масса передвигаемых объектов, сопротивление обрабатываемого материала, могут ограничивать точность заводской калибровки, что представляет собой вызов для современных производств.

Преодолевая эти ограничения, современные мобильные координатоопределяющие системы становятся ключевыми компонентами для достижения требуемой точности. Примерами таких инновационных систем являются гибридные абсолютные лазерные трекеры, вроде Leica AT960, которые обеспечивают высокоточное позиционирование в трехмерном пространстве [2]. Дополнительно, применение 6Dof устройств позиционирования, таких как Leica T-Mac, дает возможность проводить калибровку роботов прямо на производственном месте, что значительно улучшает абсолютную точность до уровней 0.1 – 0.4 мм [2].

Помимо этого, для дополнительного повышения точности и расширения функциональности систем, применяются высокоточные измерительные руки, такие как FaroArm и Romer Absolute Arm. Эти портативные артикуляционные устройства предоставляют дополнительные данные о форме и размерах объектов, дополняя возможности роботизированных систем. Трехмерные оптические системы, например, Hexagon Absolute Tracker AT960, обеспечивают точное определение позиций объектов, портативные координатомеры, такие как FARO ScanArm, позволяют проводить высокоточное сканирование поверхностей, а инерциальные измерительные системы, вроде MTi-G-710, обеспечивают точное отслеживание движений роботов и объектов на производственной линии [3].

В рамках промышленной метрологии, где требуется размерный контроль разнообразных деталей, от автомобильных кузовов до элементов ракет, появляется потребность в эффективных и точных методах измерений. Ручные измерения, особенно при сканировании сложных поверхностей, подвержены времязатратам и возможным ошибкам.

Интеграция антропоморфных роботов в процесс измерений представляет перспективное решение [4]. Роботы, снабженные сканерами или контактными щупами, выполняют измерения по заранее заданному алгоритму. Программирование учитывает требования производства, обеспечивая высокую точность и непрерывную работу.

Системы программирования, такие как Metrolog i-Robot, Spatial Analyzer, Polyworks, автоматизируют обработку данных, включая анализ отклонений от CAD-моделей, контроль размеров и формирование отчетности [5]. Такой интегрированный подход обеспечивает точность, повышает производительность и минимизирует человеческий фактор в процессе измерений.

Тем не менее, успешное внедрение роботов в эту область сопряжено с рядом научно-технических вызовов, требующих системного исследования.

Основное препятствие - реализация высокой точности измерений в условиях динамических и изменчивых производственных сценариев. Эффективное функционирование роботов в таких условиях предполагает адаптивность к переменным параметрам окружающей среды, постоянное обновление алгоритмов управления и учет влияния факторов, влияющих на точность измерений.

Другим важным пунктом является гибкость робототехнических систем, способных адаптироваться к разнообразным производственным условиям и различным видам измерительных задач [6]. Такая гибкость требует глубокого понимания конкретных требований различных отраслей промышленности и адекватного проектирования робототехнических решений.

Кроме того, важно обратить внимание на обучение персонала, который будет работать с автоматизированными системами, так как новые технологии требуют высокой квалификации специалистов, способных осуществлять эффективное программирование и обслуживание роботов в соответствии с требованиями конкретного производства [7].

Итак, автоматизация и робототехника в технических измерениях предоставляют перспективы для улучшения производства, несмотря на некоторые вызовы. Интеграция роботов повышает точность и эффективность измерительных процессов, открывая новые возможности. Антропоморфные роботы с передовыми технологиями, такими как лазерные трекеры, существенно ускоряют монтаж сложных структур, обеспечивая высокую точность. Перспективы в автоматизированных технических измерениях обнадеживают, но требуют постоянного

внимания к техническим деталям и инновационным решениям для успешной реализации потенциала.

### **Источники**

1. Лавров В.С. Роботизированная автоматизация процессов // Лавров В.С., Петюк С.И. / Научные записки молодых исследователей. - № 6. – 2017. - С. 43-45.

2. Беломытцев И.О. Основные проблемы внедрения решений, основанных на роботизированной автоматизации процессов (RPA) // Беломытцев И.О. / Инновационная наука. - №4. – 2019. – С. 18-20.Ы

3. Толкачев С.А. Роботизация как направление неоиндустриализации (на примере США) // Толкачев С.А., Кулаков А.Д / Мир новой экономики. - №2. – 2020. - С. 79-87.

4. Ключев А.С. Автоматизация настройки систем управления // А.С. Ключев, В.Я. Ротач, В.Ф. Кузицин. - 2019. – С. 272-280.

5. Seasongood, S., 2019. Not just for the assembly line: a case for robotics in accounting and finance. Exec. 32 (1), 31–32, 35–6, 39.

6. Juntunen, K., 2018. Influence of Contextual Factors on the Adoption Process of Robotic Process Automation (RPA): Case Study at Stora Enso Finance Delivery (Master's thesis). Uppsala Universitet <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1223866>.

7. Ткаченко А.И. Роботизированная автоматизация процессов: ответы на актуальные вопросы // Ткаченко А.И. / Московский экономический журнал. - №1. – 2022. – С. 543-550.

УДК 004.8

## **СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Баторшин Тимур Русланович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Сафаров Ильдар Мирсаяфович

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

[timur.batorshin.02@gmail.com](mailto:timur.batorshin.02@gmail.com)

В этой статье рассмотрена важность внедрения систем автоматической диагностики, многочисленные преимущества и выгоды, которые они дают, а также

приведены существующие аналогичные системы, которые все чаще можно увидеть в технологической отрасли.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, система диагностики, ПТК, проактивное обнаружение проблем, удаленный мониторинг.

## **SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX DIAGNOSTICS SYSTEM USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ELEMENTS**

Batorshin Timur R.

Scientific advisor Safarov Ildar M.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

timur.batorshin.02@gmail.com

This article looks at the importance of implementing auto-diagnostic systems, the many benefits and advantages they provide, and cites existing similar systems that are increasingly seen in the technology industry.

**Keywords:** artificial intelligence, diagnostic system, PTC, proactive problem detection, remote monitoring.

В быстро меняющемся мире технологий, где проблемы на уровне программ и аппаратов продолжают нарастать, спрос на эффективные системы диагностики как никогда высок. Традиционные методы устранения неисправностей часто занимают много времени и требуют специальных знаний. Однако с появлением автоматических диагностических систем, оснащенных элементами искусственного интеллекта (ИИ), наступила новая эра в сфере технической поддержки.

Внедрение систем автоматической диагностики в программно-технические комплексы крайне важно. Прежде всего, сложность современных технологий приводит к тому, что людям, которые управляют и следят за процессами из операторских становиться сложнее быстро и точно выявлять ошибки в системе и быстро устранять их. Но системы, работающие на основе алгоритмов искусственного интеллекта, способны анализировать большие объемы данных с высокой скоростью, выявляя потенциальные проблемы и предлагая решения с несравнимой по отношению с человеком эффективностью [1].

Можно выделить следующие преимущества:

1. Эффективность использования времени:

Автоматические системы диагностики значительно сокращают время, необходимое для выявления и устранения проблем. Скорость, с



которой алгоритмы искусственного интеллекта анализируют и интерпретируют данные, не имеет аналогов, обеспечивая быстрое и точное устранение неполадок.

#### 2. Экономия затрат:

Автоматизация процесса диагностики позволяет организациям экономить на трудозатратах, связанных с устранением неисправностей вручную. Кроме того, сокращение времени простоя ведет к повышению производительности и потенциальному увеличению прибыли.

#### 3. Проактивное обнаружение проблем:

Эти системы предназначены для проактивного выявления потенциальных проблем до того, как они перерастут в критические.

#### 4. Адаптивность и обучение:

Диагностические системы на базе ИИ постоянно учатся и адаптируются к новым задачам и возникающим проблемам. Со временем они совершенствуются, становятся более искусными в распознавании закономерностей и выдают все более точные диагнозы.

#### 5. Удаленный мониторинг:

С ростом числа удаленных работ возможность удаленного мониторинга и диагностики проблем приобрела первостепенное значение. Системы автоматической диагностики позволяют ИТ-командам решать проблемы без физического доступа к оборудованию или программному обеспечению, повышая общую гибкость техподдержки [2].

Несколько систем автоматической диагностики с возможностями искусственного интеллекта уже получили широкое распространение в технологической отрасли:

##### 1. IBM Watson:

IBM MOM использует искусственный интеллект для получения когнитивных знаний, что позволяет быстрее и точнее решать проблемы в сложных системах.

##### 2. G2(Gensym):

Интегрирует различные технологии обработки, такие как правила, процедуры, объектное и процессное моделирование, симуляция и графическое представление, в единую среду разработки и развертывания. Использует ряд методов с применением искусственного интеллекта для оптимизации и ускорения разработки приложений, делая их универсальными и доступными [3].

Внедрение систем автоматической диагностики с элементами искусственного интеллекта — это большой шаг в будущее. Эти системы не только повышают эффективность обслуживания объектов, но и

способствуют значительному снижению стоимости обслуживания за счет проактивного решения проблем [4].

### Источники

1. Соломинский А.В., Железин В.А., Миргородский А.Д., Краснобаев С.В., Колотилина Н.М. ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ // Вестник науки и образования. 2023. №8 (139). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-iskusstvennogo-intellekta-v-sredstva-avtomatizatsii> (дата обращения: 24.02.2024).

2. Самойлова Е. М., Игнатъев А. А. Интеграция искусственного интеллекта в автоматизированные системы управления и проектирования технологических процессов // Вестник СГТУ. 2010. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/integratsiya-iskusstvennogo-intellekta-v-avtomatizirovannye-sistemy-upravleniya-i-proektirovaniya-tehnologicheskikh-protssesov> (дата обращения: 24.02.2024).

3. Галиева А.Р. Преимущества и потенциальные недостатки использования искусственного интеллекта в промышленном производстве / А.Р. Галиева, М.А. Сафин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16-17 мая 2023 года. Том Часть 12. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. - С. 99-101.

4. Нурмиев И.И. Применение и роль искусственного интеллекта в автоматизации технологических процессов / И.И. Нурмиев, М.А. Сафин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова, Белгород, 16-17 мая 2023 года. Том Часть 12. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. - С. 274-277.

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГРЕЮЩЕГО ПРОВОДА И ВЫБОР ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ**

Бикбулатов Радмир Ильдарович

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

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

bikbulatov77777@mail.ru

В рамках представленной статьи описывается структура и функции будущего приложения, на основе чего определяются требования к инструментам по его реализации. Исходная задача состоит в разработке программы по автоматизации расчета параметров греющего провода, используемого в технологическом процессе зимнего бетонирования. На текущем этапе исследования актуализируется вопрос, связанный с выбором инструментов для реализации данной программы. Представленные результаты могут стать основой при выборе инструментов для реализации иных, схожих по своей структуре, программных решений.

**Ключевые слова:** греющий провод, программирование, код, интерфейс, программа.

## **THE RELEVANCE TASK OF AUTOMATING CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE HEATING WIRE AND THE CHOICE OF A TOOL FOR ITS IMPLEMENTATION**

Bikbulatov Radmir I.

Scientific advisor Safin Marat A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bikbulatov77777@mail.ru

Within the framework of the presented article, the structure and functions of the future application described, based on which the requirements for the tools for its implementation are determined. The initial task is to develop a program for automating the calculation of the parameters of the heating wire used in the technological process of winter concreting. At the current stage of the study, the issue related to the choice of tools for the implementation of this program being update. The presented results can become the basis for choosing tools for implementing other software solutions that are similar in structure.

**Keywords:** heating wire, programming, code, interface, program.

На сегодняшний день особенно актуально индустриальное освоение северных территорий Российской Федерации. Однако главной сложностью строительства в условиях Крайнего Севера является низкая среднегодовая температура, в результате которой усложняются строительные процессы. Одним из наиболее актуальных методов строительства является использование бетонных конструкций различной формы [1-2]. При этом проблема их использования в условиях низких температур заключается в невозможности достичь набора прочности без использования дополнительных методов. В частности, наиболее эффективным методом является использование греющего провода, помещенного внутрь бетонируемой конструкции.

Технологический процесс выполнения данных работ заключается в подключении провода к трансформатору для последующего обогрева конструкции изнутри с целью набора ее прочности [3-4]. Данный процесс представляет систему сложных операций, главной из которых является предварительный расчет параметров греющего провода с учетом параметров бетонируемой конструкции, погодных условий и иного. При этом данные расчеты на текущий момент времени выполняются в ручном режиме без использования автоматизированных систем, что значительно повышает риски допущения ошибок и, как следствие, приводит к экономическим издержкам.

Автором была поставлена задача о необходимости разработки автоматизированного решения, позволяющего полностью автоматизировать расчетные работы [5]. Так, среди основных функций проектируемой программы должны быть: возможность ввода данных; формирование промежуточных схем укладки проводов; вывод итоговых расчетных значений; вывод графика набора прочности бетона по времени и проценту. При этом на первом окне приложения планируется вводить данные относительно типа бетонной конструкции, погодных условий и иных параметров, которые послужат основой в расположении укладки проводов [6]. Второе окно программы будет принимать ввод данных по трансформатору и проводу. Третье основное окно программы будет служить для вывода итоговых расчетных значений и графика набора прочности бетонируемой конструкции.

Одним из основных вопросов на текущем этапе исследования является выбор программных инструментов для реализации проектируемого решения. Так, используемая среда разработки должна иметь возможность создания интерфейса для пользователя, который, в

свою очередь, должен иметь в своем функционале наличие приема вводимых данных, отображения графической информации, создание многооконного приложения, выпадающие списки и иные немаловажные части для взаимодействия с пользователем. Среди наиболее распространенных вариантов можно отметить NeoAxis, Default, Unity, Android Studio, Game Maker и Cocos Creator. Каждое из данных решений имеет индивидуальные преимущества и недостатки, выраженные в функциональности и иных составляющих [7].

В результате анализа представленных вариантов выбор для реализации проектируемого решения был сделан в сторону инструмента Unity. Среди основных причин, по которым был сделан данный выбор можно выделить:

- кроссплатформенность. Unity поддерживает разработку приложений для различных операционных систем, таких как Windows, MacOS, iOS, Android и другие;

- легкость в использовании. Unity удобный пользовательский интерфейс и обширную документацию, что делает разработку приложений более доступной даже для начинающих разработчиков;

- мощный движок. Unity предлагает широкий набор инструментов и возможностей для создания высококачественных графических и физических эффектов;

- широкие возможности и функционал. Unity удовлетворяет всем требованиям и имеет все возможности для создания автоматизированной программы расчёта параметров греющего провода, указанных ранее в работе.

Таким образом, основной целью представленной статьи являлось определение наиболее оптимального и эффективного инструмента для реализации проектируемой программы. В результате работы описаны основные особенности и требования к инструменту разработки программы, а также выделены основные кандидаты. Анализ, проведенный, в рамках работы выявил, что наиболее эффективным и подходящим инструментом для реализации программы станет именно Unity.

## **Источники**

1. Коклюгина Л.А., Хидиятуллин И.И. Экспериментальное и имитационное исследование набора прочности бетона при бетонировании колонны в зимних условиях // Известия КазГАСУ. 2020. №2 (52).

2. Шелехов И.Ю., Дорофеева Н.Л., Казаева А.Ю. Исследование термодинамических процессов в бетонной смеси, затвердевающей в зимних условиях // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. №1 (36).

3. Львова Т.Н., Бикбулатов Р.И., Пирогова А.М. Проектирование программного продукта автоматизации расчета параметров греющего провода при зимнем бетонировании // ИВД. 2023. №5 (101).

4. Усков М.А. Обзор преимуществ и недостатков игровых движков. обоснование выбора инструментов и технологий разработки клиентской части игровых приложений // Глобус: технические науки. 2020. №5 (36).

5. Сафин М.А., Идрисова Г.Ф. Автоматизация остановок общественного транспорта в г. Казань с помощью адаптивной системы управления для повышения уровня комфорта и безопасности населения // ИВД. 2023. №10 (106). С. 21-28.

6. Сафин М.А., Бикбулатов Р.И., Пирогова А.М. Повышение эффективности автоматической идентификации разливов нефти с помощью беспилотных летательных аппаратов // ИВД. 2022. №12 (96). С. 10-19.

7. Башаров Р. Р., Сафаров И.М., Сафин М.А. оптимизация режимов работы строительной техники // Энергетика и энергосбережение: теория и практика. 2023. С. 306-307.

УДК 631

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Богданов Арсений Владимирович

Науч. рук. канд. техн. Наук, доц. Богданов Александр Нетфуллович

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

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

Статья посвящена анализу применения беспилотных летательных аппаратов самолетного типа, а также квадрокоптеров в такой важной части экономики, как сельское хозяйство, определению плюсов и минусов таких решений с последующим выбором оптимального варианта для реализации на базе молодежного инновационного центра.

**Ключевые слова:** автоматизация, сельское хозяйство, автоматизация сельского хозяйства, беспилотные летательные аппараты, БПЛА.

# THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN AGRICULTURE

Bogdanov Arseniy V.

Scientific advisor Bogdanov Alexander N.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

The article is devoted to analyzes the use of unmanned aerial vehicles of the airplane type, as well as quadcopters in such an important part of the economy as agriculture, determining the pros and cons of such solutions, followed by choosing the optimal option for implementation on the basis of the youth innovation center.

**Keywords:** automation, agriculture, agricultural automation, unmanned aerial vehicles, UAVs.

Сельское хозяйство является одной из основных отраслей экономики и имеет большое значение для обеспечения продовольственной безопасности населения [1]. Современные технологии и инновации играют ключевую роль в повышении производительности, эффективности и устойчивости сельскохозяйственного производства.

Одна из таких технологий – беспилотники, которые могут быть применены для различных задач, например анализа рельефа, определения дефектов посева и дефектных участков, опрыскивания полей [2].

Различают 2 вида БПЛА – коптерного и самолетного типа (рис.1). Оба варианта позволяют снизить нагрузку на персонал и практически полностью исключить человеческий фактор из процессов [3]. Однако у них есть некоторые отличия, которые могут повлиять на выбор определенного типа беспилотного аппарата [5].



а)



б)

Рис.1. 2 вида БПЛА

а – коптерного типа; б – самолетного типа

Первое отличие - дальность полета и скорость. Беспилотники самолетного типа способны пролетать большие расстояния и осуществлять длительные полеты, что делает их более эффективными для крупных полей. Коптеры имеют малую дальность полета и скорость, что ограничивает их применение на больших территориях, но зато они имеют небольшое преимущество – способность зависать в воздухе для более детального осмотра каких-либо участков поля, у БПЛА самолетного типа такой способности нет.

Второе отличие - грузоподъемность. Беспилотники самолетного типа могут нести более тяжелые грузы, что позволяет им оснащать различными сенсорами и камерами для проведения более качественного мониторинга. Коптеры имеют ограниченную грузоподъемность.

Третье отличие - стоимость. Коптеры обычно дешевле беспилотников самолетного типа, что делает их более доступными для небольших фермеров или предприятий. Однако беспилотники самолетного типа могут быть более экономичны в использовании на больших участках земли из-за их более высокой производительности.

Учитывая эти факторы, можно сделать вывод, что более перспективным направлением сейчас будут БПЛА самолетного типа, так как разработка своего прототипа с использованием современных технологий может помочь снизить цену и себестоимость конечного продукта, что в последствии сделает эти беспилотники более доступными, чем сейчас. Именно поэтому в нашем ВУЗе студенты на базе молодежного инновационного центра разрабатывают свой вариант беспилотника самолетного типа (рис.1 б).

Использование беспилотных систем в сельском хозяйстве представляет собой важное направление развития производства [4]. Эти системы способствуют повышению производительности, эффективности и устойчивости, что в итоге приводит к улучшению качества жизни населения и экономическому развитию страны.

### **Источники**

1. Сельское хозяйство: ключевая роль в современной мировой экономике [Интернет-ресурс] URL: <https://nauchniestati.ru/spravka/rol-selskogo-hozyajstva-v-sovremennoj-mirovoj-ekonomike/>
2. Беспилотники и сельское хозяйство [Интернет-ресурс] URL: <https://www.geomir.ru/publikatsii/bespilotniki-v-selskom-khozyaystve/>



3. Михайлов, В.А. Автоматизация сельскохозяйственного производства: учебное пособие / В.А. Михайлов, В.И. Кузнецов, В.В. Ляхов. - М.: Колос, 2019

4. Беспилотная авиация – в помощь сельхозпроизводителям // Аграрная наука. – 2019. -№ 10. – С. 85- 86. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41518676>

5. Сравнение БПЛА мультироторного и самолетного типов [Интернет-ресурс] URL: [https://gisproxima.ru/issledivanie\\_datchikov\\_bla](https://gisproxima.ru/issledivanie_datchikov_bla)

УДК 631

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА В ИНДУСТРИИ РАЗВЛЕЧЕНИЙ**

Богданов Арсений Владимирович,  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Богданов Александр Нетфуллович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
[Arseniy.bogdanov.97@mail.ru](mailto:Arseniy.bogdanov.97@mail.ru)

Статья посвящена анализу применения робота-манипулятора в индустрии развлечений.

**Ключевые слова:** автоматизация, робот-манипулятор, робот.

## **ANALYSIS OF THE USE OF THE MANIPULATOR IN THE ENTERTAINMENT INDUSTRY**

Bogdanov Arseniy V.  
Scientific advisor Bogdanov Alexander N.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
[Arseniy.bogdanov.97@mail.ru](mailto:Arseniy.bogdanov.97@mail.ru)

The article is devoted to the analysis of non-standard application of the robot manipulator.

**Keywords:** automation, robot manipulator, robot.

Роботы-манипуляторы уже давно используются для автоматизации различных процессов и стали незаменимыми помощниками в таких отраслях, как автомобильная промышленность, фармацевтика, химическое производство, строительство, электроника [1]. Однако их применение

возможно не только на производстве, но и в индустрии развлечений. И в последнее время они становятся все более популярными. Компании всего мира активно внедряют роботов-манипуляторы в различные аттракционы.

Одним из наиболее популярных примеров применения робота-манипулятора в индустрии развлечений являются тематические парки, где роботы выполняют различные задания, такие как обслуживание посетителей, предоставление информации, участие в различных шоу и представлениях. Такие роботы-манипуляторы обычно оснащены сенсорами и камерами, что позволяет им взаимодействовать с посетителями и окружающей средой [5].

Манипуляторы для развлечения посетителей используются не только в аттракционах, но и некоторыми компаниями. Например, MontyCafe запустила франшизу кофеен, где обслуживание клиентов осуществляется роботом-бариста [4].

Благодаря высокой точности, настраиваемой подвижности и компактной конструкции [3] робот-манипулятор может выполнять такие функции, как подача кофе, игра на музыкальных инструментах [2] или быть соперником в аэрохоккее (рис.1 а).

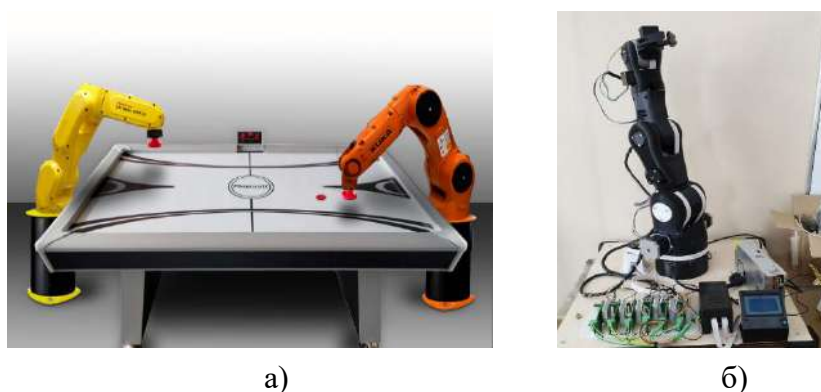


Рис.1. Роботы-манипуляторы

а – роботы для аэрохоккея; б – робот, созданный в МИЦ

Нашей командой на базе Молодежного инновационного центра (МИЦ) «Энергия» создается прототип такого манипулятора (рис.1 б) для применения в ходе профориентационных мероприятий КГЭУ.

В результате проведенного сравнительного анализа вариантов применения робота-манипулятора в развлечениях был выбран аэрохоккей.

На втором этапе разработки была освоена настройка прототипа робота-манипулятора, состоящего из двух звеньев. В ходе настройки была изучена работа шаговых двигателей, их драйверов, программирование микроконтроллера Arduino.

На следующем этапе планируется выполнить настройку прототипа робота-манипулятора, состоящего из четырех звеньев, и затем осуществить модернизацию его конструкции для применения его в аэрохоккее.

### **Источники**

1. Архипов М.В. Промышленные роботы: управление манипуляционными роботами: учебное пособие для среднего профессионального образования / М.В. Архипов, М.В. Вартанов, Р.С. Мищенко. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 170 с.
2. Обучение промышленных роботов игре на инструментах [Интернет-ресурс] URL: <https://nplus1.ru/news/2017/09/19/automatica>
3. Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы / В.С. Кулешов, Н.А. Лакота, В.В. Андрюнин и др.; под ред. В.С. Кулешова, Н.А. Лакоты. - Москва: Машиностроение, 1986. – 327с.
4. Роботы-бариста в современной кофейной индустрии [Интернет-ресурс] URL: <https://shop.tastycoffee.ru/blog/roboti-barista>
5. Захаров Д.Н., Куровский Д.М., Ракшин Е.А., Борисов О.И., Громов В.С., Колюбин С.А. Моделирование и управление движением роботов. Учебно-методическое пособие. — СПб.: Университет ИТМО, 2023. — 84 с.

УДК 62-52

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ НА ГОРЕЛКУ КОТЛА Е-180-3,3-425 ГД**

Валеев Аяз Ильнурович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

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

wotaaiaz@gmail.com

В статье рассмотрена система автоматического регулирования процессом подачи газообразных топлив на горелку котла Е-180-3,3-425 ГД. Система представляет собой комплекс автоматических устройств, позволяющих производить управление работой котла как дистанционно, так и по месту. Статья описывает состав функций, комплексов задач, реализуемых системой.

**Ключевые слова:** модернизация, котел, контроллер, газообразное топливо.

# **AUTOMATED SYSTEM FOR SUPPLYING GASEOUS FUELS TO THE BURNER OF THE BOILER E-180-3,3-425 GD**

Valeev Ayaz I.

Scientific advisor Safin Marat A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

wotaaiaz@gmail.com

The article considers the system of automatic control of the process of supplying gaseous fuels to the burner of the boiler E-180-3,3-425 ДГ. The system is a complex of automatic devices that allow you to control the operation of the boiler both remotely and locally. The article describes the composition of functions and complexes of tasks implemented by the system.

**Keywords:** modernization, boiler, controller, gaseous fuel.

Объектом автоматизации является паровой котел E-180-3,3-425 ГД П-образной компоновки, однобарабанный, с естественной циркуляцией, с уравновешенной тягой дымовых газов, который предназначен для выработки перегретого пара с избыточным давлением на выходе котла 3,3 МПа и температурой 425 °С, номинальной производительностью 180 тонн пара в час [1].

Создаваемая АСУ ТП обеспечивает автоматизированное управление технологическим процессом и обеспечивает выполнение следующих функций:

- информационно-вычислительные;
- функция авторегулирования параметров технологического процесса;
- функция технологических защит и блокировок;
- функция предупредительной и предаварийной сигнализации [2].

К управляющим функциям относятся:

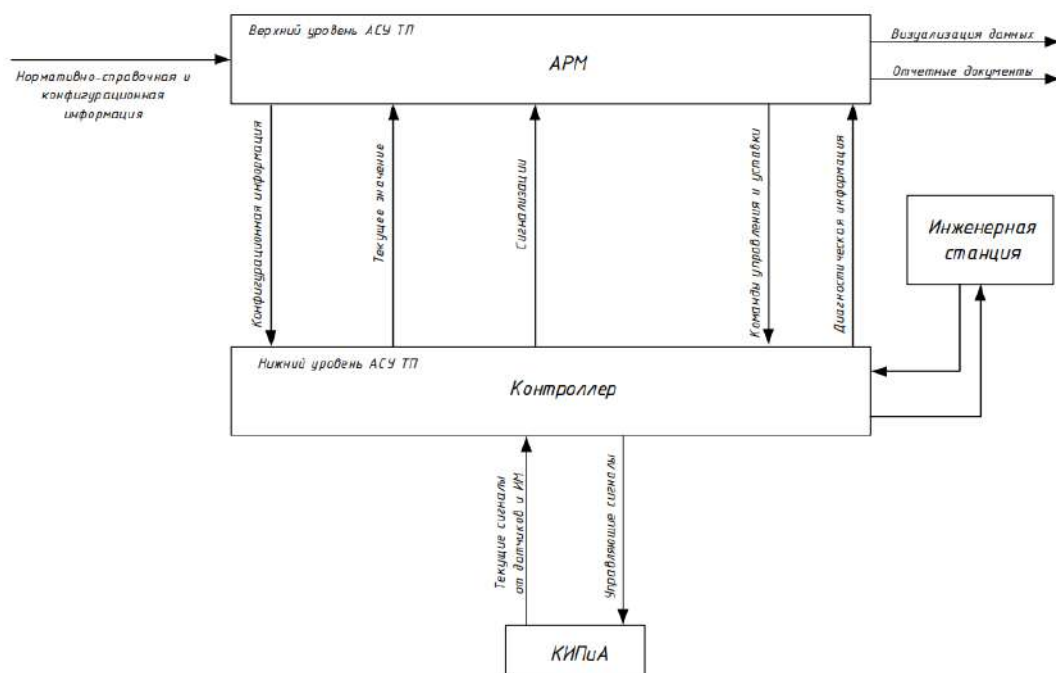
- технологические защиты и защитные блокировки;
- автоматическое регулирование;
- автоматическое логическое управление и технологические блокировки;
- дистанционное управление запорной, регулирующей арматурой и исполнительными механизмами, а также включение-отключение контуров автоматического регулирования [3].

В составе САУ выделяют следующие иерархические уровни:

- нижний уровень – датчики, первичные преобразователи, исполнительные механизмы, регулирующие органы, модули ввода-вывода.

- верхний уровень – уровень автоматизированного оперативного управления. В него входят автоматизированное рабочее место (АРМ) операторов, инженерная станция, экран коллективного пользования, сервер точного времени, принтер [4].

Связь между уровнями происходит по информационной модели (см. рисунок).



Информационная модель АСУ ТП

Для качественного регулирования и поддержания параметров применяются следующие контрольно-измерительные приборы:

1. датчик давления природного газа до регулирующего клапана;
2. расходомер природного газа;
3. датчик давления природного газа после регулирующего клапана;
4. датчик давления доменного газа до регулирующего клапана;
2. расходомер доменного газа;
3. датчик давления доменного газа после регулирующего клапана

Контуры регулирования, использующие вышеперечисленные датчики:

1. Регулирование давления пара на выходе котла подачей газа (давлением природного газа и давлением доменного газа в заданном соотношении)

2. Регулирование соотношения «топливо-воздух» в общем трубопроводе перед горелками направляющей вентилятора с коррекцией по

соотношению природного газа к доменному газу, по содержанию кислорода в дымовых газах и с коррекцией по числу работающих горелок.

### 3. Регулирование пускового давления природного и доменного газов.

Так, автоматическая система подачи газообразных топлив, выполняемая через контуры регулирования, решает ряд технических проблем, среди которых:

- обеспечение надежного и эффективного автоматизированного управления всем основным и вспомогательным оборудованием в нормальных, переходных и аварийных режимах работы котла;

- увеличение срока службы оборудования, повышение уровня надежности, безопасности и экономичности процессов выработки тепловой и электрической энергии;

- сокращение времени пусковых операций и времени простоев по причине отказов основного оборудования за счет использования функций диагностики;

- оптимизация технологического процесса за счет реализации сложных алгоритмов управления и регулирования.

## Источники

1. Апсеметов А.Т. Разработка адаптивной системы регулирования давления пара на выходе парового котла / А.Т. Апсеметов, К.Е. Арыстанбаев, Ильяс Есжанов. — Текст: непосредственный // Технические науки в России и за рубежом: материалы II Междунар. науч. конф. (г. Москва, ноябрь 2012 г.). — Москва : Буки-Веди, 2012. — С. 41-43. — URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/55/2660/> (дата обращения: 10.03.2024).

2. Симанков В.С., Луценко Е.В. Моделирование принятия решений в адаптивных АСУ сложными системами на основе теории информации // Информационные технологии. 1999. N2. - С. 8-14.

3. Савчиц А.В. Разработка системы управления процессом получения метил-трет-бутилового эфира с целью улучшения качества / А.В. Савчиц, А.С. Кудряшов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 12 (198). — С. 47-48. — URL: <https://moluch.ru/archive/198/48852/> (дата обращения: 10.03.2024).

4. Сафин М.А., Сафиуллина А.Ф. Безопасность и автоматизация в условиях нефтегазовой промышленности // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8 № 8(34) с. 32–36

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРУЗИИ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

Газизуллин Ильгиз Маратович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Данилов Валерий Александрович

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

ilgizgazizullin@mail.ru

В данной статье рассматривается шнековая экструзия для формования малогабаритных изделий. Шнек вращением проталкивает гранулы через бочку, где материал нагревается и сжимается. Процесс экструзии сопровождается нагревом пластикового материала выше температуры плавления, расплав находится под давлением. Далее, расплавленный пластиковый материал выталкивается и проходит через небольшое отверстие, называемое отверстием фильеры. Такой экструдер планируется использовать для изготовления узла впрыска маленькой литьевой машины.

**Ключевые слова:** экструзия, шнек, давление литья, формование, литье под давлением, термопластавтомат.

## APPLICATION OF EXTRUSION IN MOLDING PLASTIC PRODUCTS

Gazizullin Ilgiz M.

Scientific advisor Danilov Valery A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ilgizgazizullin@mail.ru

This paper discusses screw extrusion for molding small-sized products. The screw rotates the pellets through a barrel where the material is heated and compressed. The extrusion process involves heating the plastic material above its melting point, and the melt is pressurized. Next, the molten plastic material is pushed out and passes through a small opening called a die opening. Such an extruder is planned to be used to manufacture the injection unit of a small injection molding machine.

**Keywords:** extrusion, screw, molding pressure, molding, injection molding, injection molding machine.

Экструзия превращает твердый пластиковый материал в расплавленное состояние, а затем в конечный продукт. Оборудование для

экструзии состоит из экструдера, фильеры, системы охлаждения, а также дополнительных механизмов [1]. Твердый пластиковый материал превращается в расплавленный в трубе экструдера под действием вращающегося шнека [2].

Экструзионная литьевая машина конструктивно похожа на термопластавтомат [3]. Отличие между этими типами машин в том, что термопластавтомат имеет осевое перемещение шнека [4]. Экструзия может применяться для формования небольших деталей до 10-20 см<sup>3</sup>.

Процесс формования деталей экструзией состоит из трех этапов. На первом этапе (см. рисунок 1) шнек начинает вращаться, дозируя заданную массу расплавленного материала для последующего впрыска в форму [5].

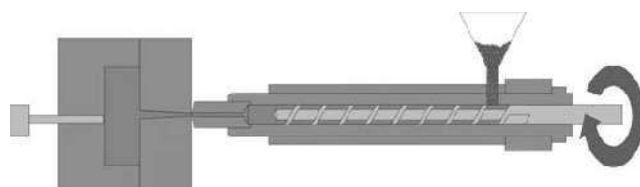


Рис. 1. Первый этап формования

На этом этапе (см. рисунок 2) пресс-форма открывается, шнек при этом не вращается.

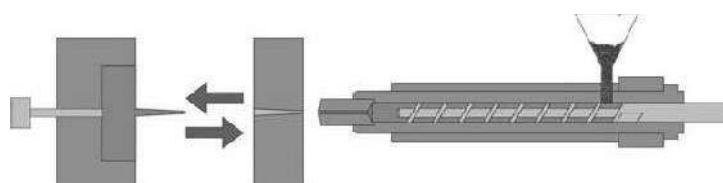


Рис. 2. Второй этап формования

На 3 этапе деталь выталкивается (см. рисунок 3). Затем узел впрыска перемещается вперед к узлу зажима для начала нового цикла, как показано на этапе 1 [6].



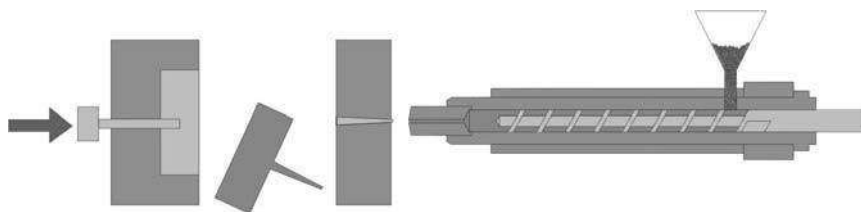


Рис. 3. Третий этап формования

Основными достоинствами такой машины являются низкая стоимость и высокая производительность. Однако такая конструкция машины ограничивает максимальный объем формуемых изделий.

### Источники

1. Басов Н.И. Исследование процессов и оборудования для литья под давлением; Автореферат докт. Дис. ЛТИ им.Ленсовета, 1973
2. Гурвин С.Г., Ильяшенко Г.А. Расчет и конструирование машин для переработки пластических материалов. М Машиностроение, 1970 296с
3. Симонов-Емельянов И.Д. Расчет параметров процесса литья под давлением с использованием инжекционной характеристики литьевой машины – Пластические пластмассы, 1981 №3, с 39
4. Исследование компании Southern California Edison Utility (SCE) и компании Merrick Engineering / Журнал Plastics News 1977 г.
5. Injection molding / Becker M.B., Zaslavsky M.L., Ignatenko Yu.F., Korotkov R.A., Nevzorov V.Ya., Nevzorov V.Ya., etc.; ed. Becker M.B. Moscow: Mechanical Engineering, 1990.
6. Olenev, B.A. Design of injection molding for thermoplastics: textbook / B.A. Olenev, E.M. Mordkovich, M.V. Baryshnikova. - М.: Chemistry, 1985. - 342 p.

УДК 622.23.05

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ДАТЧИКИ МОНИТОРИНГА СРЕДЫ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Галиева Алина Рушановна

Науч. рук канд. техн. наук, доц. Богданова Наталия Владимировна

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

agaliewwwa@gmail.com

В данной статье рассмотрены некоторые из причин аварий на угольных шахтах. Также изучены особенности обеспечения взрывобезопасности в угольной шахте. На основании изученных данных, рассмотрены эффективные датчики анализа различных газов.

**Ключевые слова:** безопасность персонала, добыча угля, метан, датчики газа, газоанализаторы, автоматизация системы.

## **AUTOMATED ENVIRONMENT MONITORING SENSORS IN COAL MINES**

Galieva Alina R.

Scientific advisor Bogdanova Natalia V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

agaliewwwa@gmail.com

This article discusses some of the causes of accidents in coal mines. The specifics of ensuring explosion safety in a coal mine have also been studied. Based on the studied data, effective sensors for analyzing various gases are considered.

**Keywords:** personnel safety, coal mining, methane, gas sensors, gas analyzers, system automation.

По данным Министерства энергетики Российской Федерации на территории нашей страны существует порядка 54 угольных шахт. Угольные шахты и горнодобывающая промышленность являются неотъемлемой частью ресурсов страны. На данный момент мы являемся лидерами по экспорту угля на мировой рынок. Добыча угля связана с повышенной опасностью и пагубным влиянием на здоровье рабочих и ближайший район с населением. За последние 20 лет в РФ произошло порядка 7 аварий, с жертвами в которых становились 50 и более человек. Одна из последних техногенных катастроф произошедших на территории РФ является взрыв на шахте «Листвяжная», 25 ноября 2021 года в Кемеровской области. В результате взрыва погиб 51 человек и 106 пострадали [3].

Главной причиной катастроф в угольных шахтах является взрыв метановоздушной смеси в пластах земной коры и угольной пыли. Кроме того, взрыв сопровождается искрой, вследствие чего происходит пожар и обрушение породы.

Допустимая концентрация метана в воздухе для человека должна составлять 2%, от 5% до 15% (при концентрации выше 16% не взрывается, а горит) происходит воспламенение или взрыв [1].

В связи с такими показателями для безопасной работы шахтеров, предусмотрены газоанализаторы. Газоанализаторы подразделяются на три метода измерения:

- 1) Физические с вспомогательным компонентом химических реакций;
- 2) Физико-химические: фотоколориметрические, электрохимические, термохимические;
- 3) Физические: оптические, термокондуктометрические, терромагнитные;

Самый распространённый вид - это электрохимические приборы, как наиболее дешёвые, универсальные и простые. Минусы данного метода: невысокая избирательность и точность измерения; небольшой срок службы (до 3 – 4 лет) газочувствительных датчиков, подверженных влиянию агрессивных сред и высоких концентраций.

Также предусмотрены два вида газоанализаторов по исполнению: переносной, со встроенным аккумулятором, легкий и портативный; стационарный, работающий от сети 220 В, проводящий постоянный мониторинг окружающей среды [2].

Например, стационарный многокомпонентный газоанализатор МАГ-6С, обладает набором необходимых характеристик: количество измеряемых газов – метан и сероводород, есть взрывозащищенность, протокол Modbus, интерфейс USB, RS-232, RS-485; тип питания – 220В, внутренняя память.

Переносной портативный четырехдетекторный газоанализатор Альтаир 4XR (ALTAIR 4XR). По настройкам есть необходимый мониторинг газов для работы (кислород, метан, угарный и углекислые газы), широкий диапазон температур: от -40°С до +60°С; присутствует взрывозащита, время работы без подзарядки 24 ч, небольшие габариты устройства.

В заключение следует отметить, что использование датчиков и технологий мониторинга в угольных шахтах играет важную и неотъемлемую роль в безопасности работников. Благодаря этим современным решениям, угольные шахты становятся более безопасными и эффективными местами работы, что способствует улучшению условий труда и уменьшению рисков для сотрудников.

### **Источники**

1. Бондаренко В.И. Угольная шахта /В.И. Бондаренко, Н.К. Руденко, В.Ю. Медник, 2017. - 265 с.
2. Благодарный А.И., Гусев О.З., Канаш А.А., Колодей А.В., Колодей В.В. Комплексная автоматизация и обеспечение безопасности технологического процесса добычи угля // Международная научно-практическая конференция «Научоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов». 2007 г., Новокузнецк. С. 243-247.

3. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации (Минэнерго России) [Электронный ресурс] minenergo.gov.ru (дата обращения 25.02.2024)

УДК 681.516.32

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

Горбов Валерий Юрьевич<sup>1</sup>, Абзалов Даниил Булатович<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Богданова Наталия Владимировна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>valera322gg@gmail.com, <sup>2</sup>esports\_707@mail.ru

В статье рассмотрено применение искусственного интеллекта в системах вентиляции. Актуальность данного решения заключается в необходимости повышения энергоэффективности в современных реалиях.

**Ключевые слова:** вентиляция, бытовые системы, искусственный интеллект, оптимизация, энергоэффективность.

## USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VENTILATION SYSTEMS

Gorbov Valery Yu.<sup>1</sup>, Abzalov Daniil B.<sup>2</sup>

Scientific advisor Bogdanova Natalia V.

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>valera322gg@gmail.com, <sup>2</sup>esports\_707@mail.ru

The article discusses the use of artificial intelligence in ventilation systems. The relevance of this solution lies in the need to increase energy efficiency in modern realities.

**Keywords:** ventilation, household systems, artificial intelligence, optimization, energy efficiency.

В современном и быстро меняющемся мире спрос на более умные и эффективные бытовые системы постоянно растет. Среди них системы вентиляции играют решающую роль в поддержании качества воздуха в помещении при обеспечении энергоэффективности [1]. С появлением искусственного интеллекта (ИИ) эти системы претерпевают трансформацию, используя передовые алгоритмы для оптимизации производительности.

**Умное управление и оптимизация.**

Системы вентиляции, управляемые искусственным интеллектом, являются не просто реактивными, но и проактивными. Они постоянно контролируют различные параметры окружающей среды, такие как температура, влажность, количество людей и качество воздуха. Анализируя эти данные в режиме реального времени, алгоритмы искусственного интеллекта динамически корректируют параметры вентиляции для оптимизации качества воздуха и минимизации энергопотребления [2].

#### **Прогнозируемое обслуживание.**

Алгоритмы прогнозного обслуживания на базе искусственного интеллекта анализируют данные датчиков и записи технического обслуживания, чтобы предсказать, когда компоненты системы вентиляции могут выйти из строя. Обнаружив потенциальные проблемы на ранней стадии, можно заранее запланировать техническое обслуживание, сводя к минимуму время простоя и продлевая срок службы оборудования.

#### **Обнаружение неисправностей и диагностика.**

Алгоритмы искусственного интеллекта постоянно контролируют работу системы вентиляции, обнаруживая отклонения и неэффективность в режиме реального времени. Анализируя огромные объемы данных, эти алгоритмы могут выявлять неисправности и точно диагностировать основные проблемы. Такой упреждающий подход к обнаружению неисправностей гарантирует быстрое устранение проблем, повышая надежность системы и предотвращая потери энергии.

#### **Адаптивная вентиляция.**

Системы вентиляции с поддержкой искусственного интеллекта адаптируются к изменяющимся условиям в режиме реального времени [3]. Анализируя загруженность здания и факторы окружающей среды, эти системы регулируют скорость вентиляции и распределение воздушного потока в соответствии с текущим положением, одновременно оптимизируя использование энергии.

#### **Оптимизация энергоэффективности.**

Искусственный интеллект оптимизирует работу системы вентиляции, чтобы минимизировать потребление энергии и одновременно соблюдать требования. Используя прогнозную аналитику и машинное обучение, алгоритмы ИИ выявляют возможности экономии энергии и соответствующим образом реализуют стратегии оптимизации. Это приводит к значительной экономии затрат для владельцев и операторов зданий, одновременно снижая воздействие системы на окружающую среду [4].

Таким образом, ИИ совершает революцию в системах вентиляции, делая их более умными, эффективными и способными лучше адаптироваться к динамическим потребностям современных зданий. Благодаря оптимизации на основе искусственного интеллекта, профилактическому обслуживанию и стратегиям адаптивного управления системы вентиляции не только улучшают качество воздуха в помещениях, но также снижают потребление энергии и эксплуатационные расходы [5].

### **Источники**

1. Мамченко В.А. Оптимизация энергопотребления зданий с использованием искусственного интеллекта на примере систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха // Студенческий вестник. 2023. №21-10. с. 47-48.

2. Назаров П.М. Обзор современных систем автоматизации и умных устройств в вентиляционных системах Наука молодых - будущее России. 2023. с. 115-118.

3. Гендик Д.С. Разработка и исследование адаптивной системы управления инженерными сетями здания // Государство и бизнес. Направления социально-экономического развития. 2023. С. 186-195.

4. Системы вентиляции: виды, устройство, назначение. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tion.ru/ventilyaciya/> – свободный.

5. 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.

УДК 654.924

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В БАННОМ ПОМЕЩЕНИИ**

Идрисова Гузель Фанзилевна

Науч. рук. канд. техн. наук Сафин Марат Абдулбариевич

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

[guzelidrisova15525@gmail.com](mailto:guzelidrisova15525@gmail.com)

В данной статье описывается автоматическая система пожаротушения, предназначенная для обеспечения безопасности в банном помещении. Система представляет собой комплекс автоматических устройств, способных обнаруживать и тушить возгорание. Статья охватывает технические аспекты проектирования и реализации, включая выбор датчиков и исполнительных устройств, а также структуру и принцип работы автоматической установки пожаротушения.

**Ключевые слова:** безопасность, автоматическая установка пожаротушения, порошковый огнетушитель, система оповещения, банное помещение.

## **DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC FIRE FIGHTING SYSTEM TO ENSURE SAFETY IN THE BATH PREMISES**

Idrisova Guzel F.

Scientific advisor Safin Marat A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

guzelidrisova15525@gmail.com

This article describes an automatic fire extinguishing system designed to ensure safety in a bathhouse. The system is a complex of automatic devices capable of detecting and extinguishing fires in a sauna environment. The article covers technical aspects of design and implementation, including the selection of sensors and actuators, as well as the structure and operating principle of an automatic fire extinguishing installation.

**Keywords:** security, automatic fire extinguishing installation, powder fire extinguisher, warning system, sauna room.

В соответствии с Федеральным законом от 30.03.1999 № 52-ФЗ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" и Постановлением Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2013 года № 815 "Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации общественных бань, бассейнов и саун" бани относятся к третьему классу опасности [1].

Помещениям третьего класса опасности, в том числе банным помещениям, предъявляются следующие требования:

1. Отдельное помещение: баня должна быть отдельным помещением, которое не имеет прямого контакта с жилыми или общественными помещениями.

2. Прочность и негорючесть: стены, перекрытия и полы должны быть выполнены из негорючих и прочных материалов, обладающих огнестойкостью не менее 0,75 часов.

3. Вентиляция: в бане должна быть обеспечена эффективная естественная или механическая вентиляция, чтобы избежать скопления пара и обеспечить комфортные условия для пользователей.

4. Электробезопасность: все электропроводки и электрооборудование в бане должны соответствовать требованиям безопасности и нормам электроэнергетики.

5. Пожаротушение: в бане должны быть установлены необходимые средства пожаротушения, такие как огнетушители или система автоматического пожаротушения.

6. Санитарные нормы: баня должна соответствовать санитарным нормам в части уборки, дезинфекции и оснащения необходимым оборудованием (например, душ, умывальник и т. д.).

7. Безопасность: в бане должны быть предусмотрены все необходимые меры безопасности, например, противоскользящее покрытие пола, ограждения в местах с большим риском падения и т. д.

Все эти требования предназначены для обеспечения безопасности пользователей и предотвращения возможных пожаров, аварий или других негативных событий.

Предлагаемая система автоматического управления (САУ) отвечает всем требованиям Федерального закона № 52 и обеспечивает высокую безопасность пребывания.

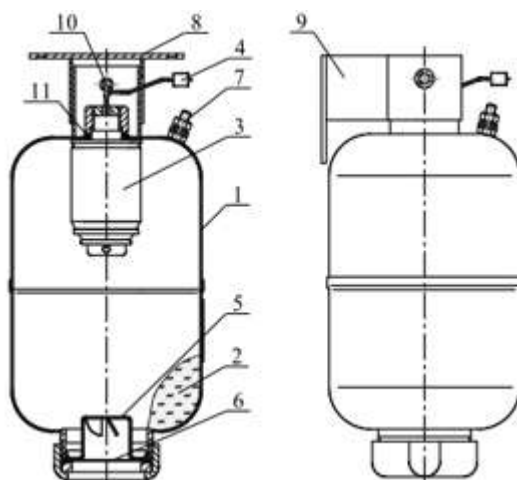
Для предотвращения аварийных ситуаций в САУ предприняты следующие действия: при превышении заданного предельного значения температуры срабатывает принудительная вентиляция на сток воздуха, которая понижает температуру и предотвращает перегрев здания. Совместно с этим воздействием также меняется мощность трубчатых электронагревателей, позволяющих плавно регулировать температуру [2]. Однако важно не только предотвратить возможность возгорания банного помещения, но и организовать комплекс мер для быстрого устранения возгорания без вреда для человеческой жизни [3].

Автоматические установки пожаротушения (АУП) – сложные и многоуровневые автоматические системы, представляющие собой комплекс мер по обнаружению и тушению пожаров без необходимости вмешательства человека.

АУП классифицируются по типу огнетушащего вещества. Для системы пожаротушения в бане наиболее оптимальным выбором будет порошковый огнетушитель. Он эффективен в тушении различных видов пожаров, включая классы А, В и С, которые могут возникнуть в бане из-за высокой температуры и влажности. Порошковые огнетушители также



имеют высокую скорость тушения и могут быстро потушить пламя, что очень важно для предотвращения распространения огня в ограниченном пространстве бани. Для данной системы выбран модуль порошкового пожаротушения «Тунгус 2 Т», схема которого представлена на рисунке.



Устройство модуля порошкового пожаротушения, где 1-корпус; 2-огнетушащий порошок; 3-источник холодного газа; 4-электропусковой элемент; 5-распылитель; 6-мембрана; 7-заземляющий зажим; 8, 9-кронштейн.

Устройство работает следующим образом: после подачи электрического импульса на выводы электропускового элемента 4 источник холодного газа 3 генерирует газ, который вдувает огнетушащий порошок 2 и создает давление внутри корпуса для вскрытия мембраны 6 и выброса через насадок-распылитель 5 струи порошка в зону горения.

Несколько модулей крепятся на потолок или на стены помещения и подключаются к контрольной панели управления. Когда происходит возгорание, срабатывает датчик задымленности, работающий по принципу рассеивания потока света при его прохождении через частицы дыма. Система оповещения состоит из световой и звуковой сигнализаций. При срабатывании датчика дыма начинают мигать световые индикаторы, установленные на стене [4]. Человек может проверить помещение на наличие аварии и при ложном срабатывании датчика предотвратить последующие действия системы безопасности. На случай если человек не обратил внимания на индикацию, через некоторое время включается также звуковое сопровождение. Система просит людей покинуть помещение для принятия мер по устранению аварии. Все исполнительные устройства кроме источников света выключаются. Система автоматически активирует

распылители, которые начинают распылять пену в помещении. Также предусмотрено отключение основного электропитания и использование источника бесперебойного питания для непрерывной работы системы.

Пена препятствует доступу кислорода, что помогает быстро потушить пожар и предотвратить его распространение. Кроме того, АУП на основе пены является экологически безопасной, так как пена не содержит вредных химических веществ и легко удаляется после тушения пожара.

Таким образом, предложенная САУ позволяет обнаружить и устранить возгорания с помощью специального алгоритма работы датчиков, средств оповещения и исполнительных устройств. Выбранные порошковые огнетушители универсальны и эффективны, что обеспечивает успешное тушение пожаров любых типов. Наличие источника бесперебойного питания повышает надежность и работоспособность автоматической системы пожаротушения в случае чрезвычайных ситуаций. Таким образом, система защитит людей и имущество благодаря быстрому выявлению и предотвращению возможных угроз безопасности.

### **Источники**

1. Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 30.03.1999 N 52-ФЗ // consultant.ru URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_22481/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/) (дата обращения 26.02.2024).

2. Сафаров И.М. Автоматизированная система управления параметрами теплоносителя с удаленным доступом / И.М. Сафаров, Д.И. Хаматханов, А.А. Калимуллин // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2(49). – С. 84.

3. Сафин М.А., Идрисова Г.Ф. Автоматическая система контроля и регулирования микроклиматических параметров парильного помещения бани //Инженерный вестник Дона. – 2023. – №. 5 (101). – С. 43-50.

4. Кузнецова А.Н., Савельева Н.В. Современные технологии автоматизации и управления баней. Москва: Ведущие технологии, 2020. 140 с.

## **АСУ КЛИМАТОМ В УМНОМ ДОМЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Каримов Ренат Ильнарлович<sup>1</sup>, Ильина Анжелика Андреевна<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>renat\_1.12@mail.ru, <sup>2</sup>anjelka97@yandex.ru

Данная работа посвящена системе управления климатом в умном доме с использованием альтернативных источников энергии. Рассматривается принцип работы автоматизированной системы управления климатом, ее преимущества, в том числе экономические и экологические, а также дополнительные функции и возможности такой системы. Исследуется влияние использования альтернативных источников энергии на энергоэффективность и экологическую устойчивость умного дома.

**Ключевые слова:** умный дом, автоматизированная система управления климатом, альтернативные источники энергии, энергоэффективность, комфорт.

## **AUTOMATED CLIMATE CONTROL SYSTEM IN A SMART HOME USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES.**

Karimov Renat I.<sup>1</sup>, Ilyina Angelika A.<sup>2</sup>  
Scientific advisor Safin Marat A.  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>renat\_1.12@mail.ru, <sup>2</sup>anjelka97@yandex.ru

This report is devoted to the climate control system in a smart home using alternative energy sources. The principle of operation of an automated climate control system, its advantages, including economic and environmental, as well as additional functions and capabilities of such a system are considered. The influence of the use of alternative energy sources on the energy efficiency and environmental sustainability of a smart home is being investigated.

**Keywords:** smart home, automated climate control system, alternative energy sources, energy efficiency, comfort.

Современные технологии перманентно развиваются и предлагают новые решения для улучшения жизни людей. Одним из таких решений

является автоматизированная система управления климатом в умном доме с использованием альтернативных источников энергии.

АСУ климатом – это специальная система, которая контролирует и регулирует параметры окружающей среды в помещении: температуру, влажность, уровень CO<sub>2</sub> и т.д. Она позволяет создать оптимальные условия для комфортного пребывания людей и сохранения здоровья.

Благодаря использованию датчиков, программному обеспечению и современным технологиям связи, АСУ климатом в умном доме становится все более интеллектуальной и автономной. Она способна анализировать данные о поведении жителей, внешних условиях и других факторах, чтобы предложить оптимальные настройки для каждого конкретного случая. Также, автоматическое регулирование температуры в течение дня, а не её постоянный параметр, позволяют экономить энергию. Однако, у таких систем долгая окупаемость, если учитывать только экономию, упомянутую ранее. В таком случае можно рассмотреть дополнительную установку каких-либо альтернативных источников энергии [1].

Использование альтернативных источников энергии в умном доме позволяет снизить потребление электроэнергии и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Солнечные батареи, ветрогенераторы, геотермальные системы и другие альтернативные источники энергии могут использоваться для поддержания работы АСУ климатом и других систем умного дома.

Преимущества такой системы очевидны. Во-первых, это экономия средств на коммунальные услуги, так как использование альтернативных источников энергии значительно снижает расходы на электроэнергию. Во-вторых, это экологический аспект, так как снижается выброс вредных веществ в атмосферу и сокращается использование ископаемых ресурсов [2].

Кроме того, в умном доме с автоматизированной системой управления климатом есть дополнительные функции, такие как удаленное управление через смартфон, возможность создания индивидуальных программ работы в зависимости от предпочтений пользователей, возможность мониторинга и аналитики по энергопотреблению и т.д. Именно это повышает уровень комфорта в своём доме. Перспективы развития АСУ климатом в умном доме связаны с постоянным совершенствованием технологий и увеличением числа умных устройств в доме, что увеличивает удобство проживания еще больше [3, 4].

Сравнивая несколько вариантов наличия или отсутствия тех или иных систем, можно определить для себя наиболее оптимальный вариант по отношению цена/качество/удобство. То есть, нужна ли нам установка «умный дом» или нет, а если нужна, то выгодно ли её устанавливать в системе с альтернативными источниками энергии. В среднем, такие

установки актуальны, учитывая, что одна из главных целей – это повышение уровня комфорта.

Таким образом, использование АСУ климатом в умном доме совместно с альтернативными источниками энергии – это современный и эффективный способ обеспечения комфорта, экономии средств и заботы об окружающей среде, который становится всё доступнее для большинства [5].

### **Источники**

1. Гурин А.А. и др. Автоматизированная система управления климатом в помещении //Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. СП Королева (Самар. ун-т), Ин-т информатики, м.-2021.-on-line. – 2021.

2. Мустафакулов А.А., Джуманов А.Н., Арзикулов Ф. Альтернативные источники энергии //Academic research in educational sciences. – 2021. – Т. 2. – №. 5. – С. 1227-1232.

3. Сафин М.А. Применение установки получения геотермальной энергии для отопления частных домов с целью развития зелёной энергетики / М.А. Сафин, Г.Ф. Идрисова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 1(97). – С. 27-34.

4. Сафаров И.М. Система автоматического управления теплоснабжением промышленных предприятий с возможностью удаленного доступа //Инженерный вестник Дона. – 2019. – №. 2 (53). – С. 34.

5. Данилова М.А., Долгачева Е.О. Интеллектуальное управление домом. " Умный дом" //Фотинские чтения. – 2018. – №. 1. – С. 209-212.

УДК 681.51

## **ПРОГРАММИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАМЕРОЙ КОПЧЕНИЯ КОЛБАСЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА CODESYS**

Квасова Инна Сергеевна

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

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

kvasova.inna@mail.ru

В статье предложена программа для автоматической системы управления камерой копчения колбасы, выполненная в программном комплексе CODESYS. Данная программа позволяет измерять и регулировать значения температуры, влажности и

расхода. Средства визуализации позволили разработать главный экран оператора, благодаря которому открывается возможность удаленного управления процессом и отслеживание показателей.

**Ключевые слова:** автоматизация, копчение, CODESYS, визуализация, программирование, регулирование.

## **PROGRAMMING THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A SAUSAGE FUMING CHAMBER USING THE CODESYS SOFTWARE COMPLEX**

Kvasova Inna S.

Scientific advisor Safin Marat A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

kvasova.inna@mail.ru

The article proposes a program for an automatic control system for a sausage smoking chamber, implemented in the CODESYS software package. This program allows you to measure and adjust the values of temperature, humidity and flow. Visualization tools made it possible to develop the operator's main screen, which makes it possible to remotely control the process and track indicators.

**Keywords:** automation, fuming, CODESYS, visualization, programming, regulation.

Копчение колбасы — это один из самых важных этапов производства мясных изделий. Этот процесс придает колбасе характерный аромат, вкус и цвет, а также увеличивает срок ее хранения за счет уменьшения влаги. Традиционные методы копчения требуют больших затрат времени, труда и энергии, поэтому в последнее время все больше производств пищевой промышленности стремятся к автоматизации этого процесса [1].

Системы управления камерой копчения колбасы являются важным элементом в производстве мясных изделий, так как контроль процесса копчения существенно влияет на качество конечного продукта. В данной статье рассматривается возможность программирования системы управления камерой копчения с использованием программного комплекса CODESYS (Controller Development System). Основой комплекса CODESYS является среда разработки прикладных программ для программируемых логических контроллеров (ПЛК) [2].

С помощью CODESYS на языке программирования SFC (непрерывные функциональные схемы) была разработана программа,

которая позволяет контролировать температуру, влажность, расход и другие параметры процесса копчения.

Регулирование температуры смоделировано с помощью ПИД-регулятора, состоящего из функционального блока PID из библиотеки Util и функционального блока FT\_PT1 из библиотеки OSCAT Basic представляющего собой апериодическое звено 1-го порядка с коэффициентом усиления  $K$  и постоянной времени  $T$  (см. рисунок 1).

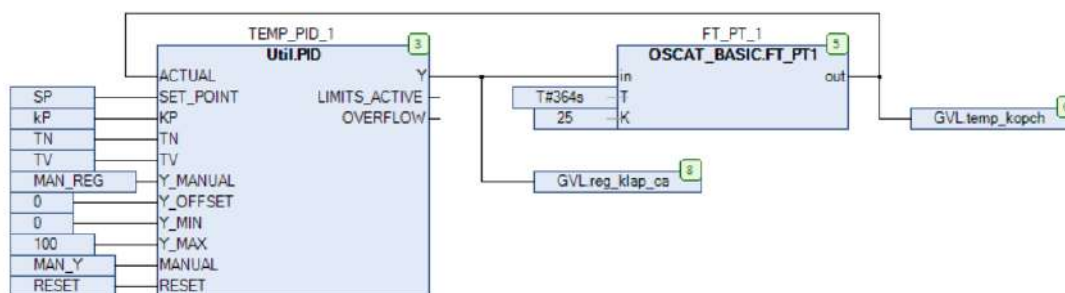


Рис. 1. Программа регулирования температуры копчения

Web-визуализация CODESYS представляет собой инновационную технологию, которая позволяет обеспечить визуализацию контроллера через Web-браузер на различных устройствах. Данная технология позволяет создавать описания объектов в проекте в формате XML, которые загружаются в контроллер для отображения. С помощью Web-сервера данные контроллера обрабатываются и также преобразуются в XML для создания постоянно обновляемой визуализации. Это позволяет отображать информацию в реальном времени на любом устройстве, подключенном к Интернету, что делает возможным удаленное управление контроллером [3].

Используя визуализацию, разработанную программу можно представить на панели оператора. Главный экран программы изображен на рисунке 2.

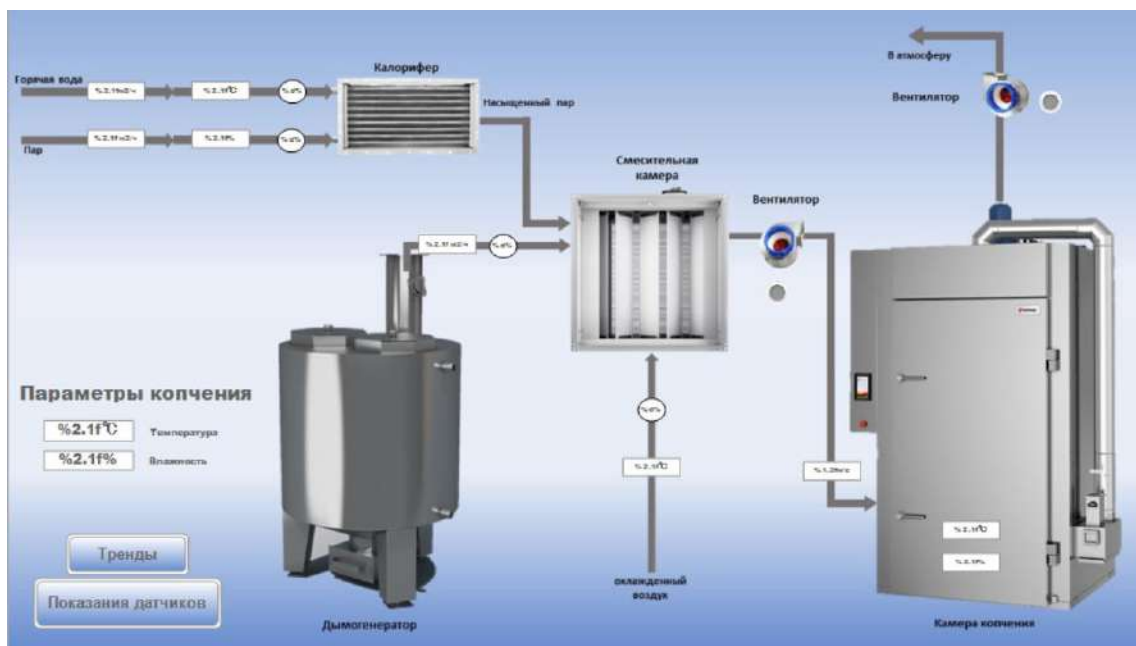


Рис. 2. Главный экран программы

Главный экран является стартовым меню программы. Из главного меню можно осуществить следующие действия [4]:

- ввести параметры копчения;
- перейти на визуализацию «Показания датчиков», где задать их значения;
- перейти на визуализацию «Тренды», где просмотреть графики регулирования температуры и влажности.

Данные действия осуществляются нажатием на соответствующий элемент на панели оператора.

На главном экране отображается следующая информация:

- показания датчиков температуры воды, пара, охлажденного воздуха и воздушной смеси для копчения, датчиков расхода воды, пара, дыма и воздушной смеси;
- работа вентиляторов, где лампочки показывают работает ли вентилятор;
- процент открытия/закрытия регулирующих клапанов.

Программирование системы управления камерой копчения с использованием программного комплекса CODESYS является эффективным и перспективным подходом, который позволяет значительно улучшить производственные процессы в мясной промышленности. Использование ПЛК и специальной программы существенно расширяет функциональность автоматической системы управления. Экран оператора



облегчает управление и повышает его эффективность за счет отображения данных всех необходимых данных производственного процесса.

Данная программа рекомендуется для применения на предприятиях пищевой промышленности. Ее использование поможет улучшить качество колбасы для потребителей, повысить надежность производства колбасной продукции, уменьшить износ оборудования и снизить расходы на электроэнергию.

### **Источники**

1. Сафин М.А., Квасова И.С. Разработка автоматической системы управления камерой копчения колбасы // Инженерный вестник Дона. – 2023. - №10.

2. CoDeSys – повседневный инструмент программиста ПЛК // Автоматизация в промышленности URL: <https://avtprom.ru/article/codesys-%E2%80%93-povsednevnyi-instrumen> (дата обращения: 20.02.2024).

3. Аль-Тибби В.Х., Адамян А.А. Использование web-визуализации CODESYS 3.5 для удаленного управления технологическими объектами // Научное обозрение. Педагогические науки. - 2019. - №3. - С. 7-10.

4. Барабанов В.Г., Гаврилов Д.П. Использование программного комплекса CODESYS для разработки системы автоматического управления насосной установкой с применением преобразователя частоты // Известия Волгоградского государственного технического университета. - 2016. - №8. - С. 103-105.

УДК 661.725.822

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ**

Муниров Эльдар Джамильевич <sup>1</sup>, Ильина Анжелика Андреевна <sup>2</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>muniroveldar@mail.ru, <sup>2</sup>anjelka97@yandex.ru

В данной статье описывается система автоматического управления технологическим процессом производства этиленгликоля. Система представляет собой комплекс технологического оборудования и автоматических устройств, позволяющих

получать в конечном процессе качественный и беспримесный продукт, а также производить эффективное и безопасное управление работой комплекса оборудования по производству этиленгликоля. В ходе работы была разработана функциональная схема автоматизации технологического процесса. Произведено описание технологического процесса и выявлены задачи управления: определение параметров, подлежащие регулированию.

**Ключевые слова:** этиленгликоль, система автоматического управления (САУ), регулирование, параметры, автоматизация, технологический процесс (ТП), исполнительный механизм, производство.

## **AUTOMATIC PROCESS CONTROL SYSTEM FOR ETHYLENE GLYCOL PRODUCTION**

Munirov Eldar D.<sup>1</sup>, Ilina Angelika A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Safin Marat A.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>muniroveldar@mail.ru, <sup>2</sup>anjelka97@yandex.ru

This article describes an automatic process control system for the production of ethylene glycol. The system is a complex of technological equipment and automatic devices that make it possible to obtain a high-quality and unalloyed product in the final process, as well as to effectively and safely manage the operation of a complex of equipment for the production of ethylene glycol. In the course of the work, a functional scheme for the automation of the technological process. A description of the technological process was made and control tasks were identified: determining the parameters to be regulated.

**Keywords:** ethylene glycol, automatic control system (ACS), regulation, parameters, automation, technological process (TP), actuator, production.

На сегодняшний день в России наблюдается стремительный рост потребления этиленгликоля, так как он является одним из основных промышленных химических продуктов, который широко используется в производстве пластмасс, антифриза, промывочных жидкостей и других продуктов. Несмотря на постоянно строящиеся химические предприятия по производству гликолей, производители не справляются с постоянно растущим спросом [1]. Основным производителем этиленгликолей в стране выступают города республики Татарстана, такие как Казань и Нижнекамск, а также город Дзержинск Нижегородской области. Для обеспечения эффективного и безопасного производства этого важного

химического вещества необходимо использовать современные системы автоматического управления технологическим процессом.

Этиленгликоль – ценный растворитель, хорошо растворяющий сложные эфиры, смолы, растительные эссенции. Растворимые свойства этиленгликоля использованы в самых различных отраслях промышленности [2].

На данный момент главным промышленным способом получения этиленгликоля является гидратация окиси этилена.

Конструкция установки по производству этиленгликоля содержит: смеситель, теплообменник, реактор, выпарные аппараты, барометрический конденсатор, ректификационные колонны.

Процесс протекает без катализаторов при температуре 200°C под давлением, обеспечивающим сохранение смеси в жидком состоянии.

Предварительно окись этилена, охлажденная до температуры -10 °С, и вода подаются в смеситель.

Оксид этилена, свежий и оборотный конденсат из смесителя, подается насосом при давлении до 2,45 МПа в паровой подогреватель. Там шихта нагревается и поступает в реактор адиабатического типа, где и протекает образование продукта.

Смесь поступает в выпарной аппарат, являющийся первой ступенью многокорпусной выпарной установки, который нагревается свежим (первичным) паром. Пройдя все ступени выпарных установок, из них выходит сырой концентрированный гликоль, который содержит 5–15 % воды.

Вторичный пар из последнего корпуса отводится в барометрический конденсатор, в котором при конденсации пара создается требуемое разрежение.

Выходящий из выпарного аппарата концентрированный гликоль отсасывается насосом в первую ректификационную колонну для отделения остатков воды и далее во вторую ректификационную колонну для получения более качественного продукта [3].

Этиленгликоль образуется сверху второй ректификационной колонны, а в кубе остается смесь ди- и триэтиленгликоля. Данные продукты также имеют ценность, и их разделяют на дополнительной вакуум-ректификационной установке.

В составе САУ технологическим процессом производства этиленгликоля выделяют следующие иерархические уровни [4]:

- полевой уровень – датчики, исполнительные механизмы, регулирующие органы, включающие в себя первичную обработку информации.

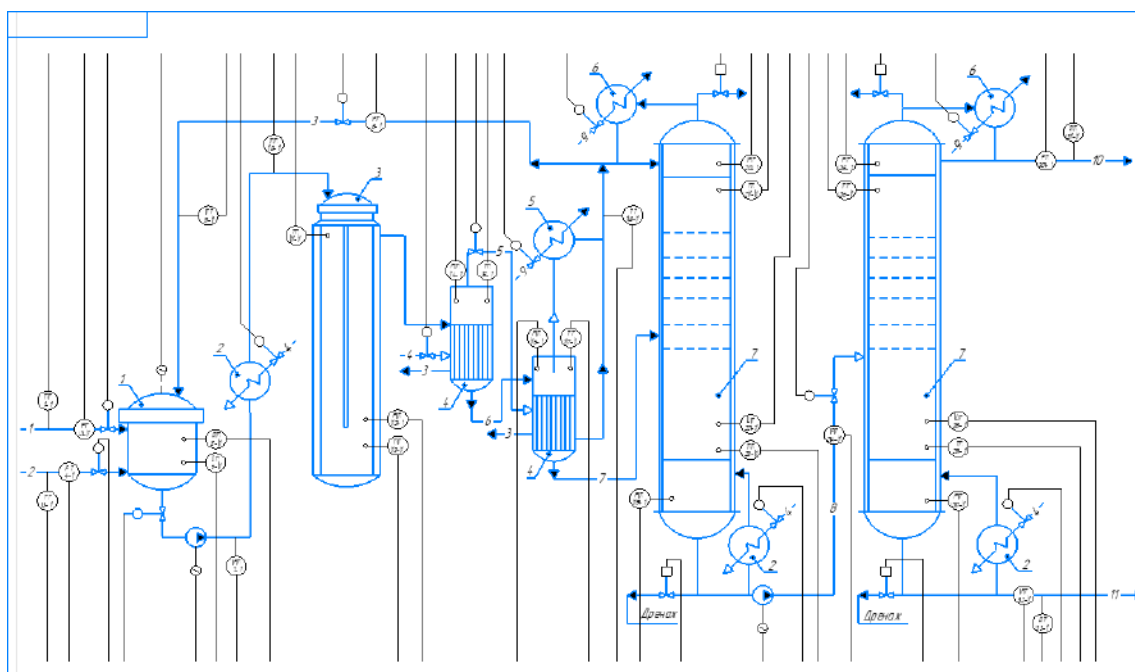
- средний уровень – регулятор, программируемый логический контроллер, включающий в себя запрограммированную систему управления оборудованием;

- верхний уровень – уровень автоматизированного оперативного управления.

В ходе анализа технологического процесса производства этиленгликоля были определены следующие точки отбора импульсов:

- Регулирование расхода оксида этилена, расхода обратного водного конденсата в смеситель, регулирование осуществляется клапаном;
- Регулирование уровня смесителя, регулирование осуществляется клапаном;
- Регулирование температуры пара в теплообменник, регулирование осуществляется клапаном ;
- Регулирование температуры верха, уровня ректификационной колонны, регулирование осуществляется клапаном.

В программе КОМПАС-3D была составлена функциональная схема автоматизации, схематически описывающая протекающий технологический процесс, технологическое оборудование, органы управления и средства автоматизации (см.рисунок).



Функциональная схема автоматизации

Таким образом, САУ ТП производства этиленгликоля играет ключевую роль в обеспечении эффективного и безопасного производства этого важного химического продукта. Её применение обеспечивает высокое качество продукции, снижает затраты на производство и повышает его эффективность.

### **Источники**

1. Химпром/ Товары и услуги/ Теплоносители/ Этиленгликоль ([http://www.химпром24.рф/goods/1130106\\_4-etilenglikol?r\\_page=5](http://www.химпром24.рф/goods/1130106_4-etilenglikol?r_page=5))
2. ГОСТ 19710-83. Этиленгликоль. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 15 с.
3. Дымент О.Н., Казанский К.С., Мирошников А.М. Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена – М.: Химия, 1976. – 372 с. (84).
4. Сафин М.А., Сафиуллина А.Ф. Безопасность и автоматизация в условиях нефтегазовой промышленности // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8 № 8(34) с. 32–36.

УДК 65.011

## **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ**

Муратова Адэля Мавлетовна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

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

adelamuratova59@gmail.com

В статье рассмотрена разработка автоматизированной системы управления канализационной насосной станции с максимальным притоком сточных вод 22,29 л/с. Для реализации функций системы подобрано количество требуемого насосного оборудования и устройств, обеспечивающих контроль, регистрацию и регулирование параметров процесса. Также описана логика обработки входных и формирование выходных сигналов для управления системой и разработана функциональная схема автоматизации.

**Ключевые слова:** канализационная насосная станция, управление, датчик, насосный агрегат, алгоритм, функциональная схема автоматизации.

# DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR A SEWAGE PUMPING STATION

Muratova Adela M.

Scientific advisor Safin Marat A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

adelamuratova59@gmail.com

The article considers the development of an automated control system for a sewage pumping station with a maximum wastewater inflow of 22,29 liters/s. To implement the functions of the system, the number of required pumping equipment and devices providing control, registration and regulation of process parameters has been selected. The logic of processing input and generating output signals for controlling the system is also described and a functional automation scheme is developed.

**Keywords:** sewage pumping station, control, sensor, pumping unit, algorithm, functional automation scheme.

С увеличением числа жилых конструкций, промышленных зданий и других строений, в которых пребывает население, растет количество необходимых для их обслуживания канализационных станций. Канализационные насосные станции (КНС) систем водоотведения — это комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий отведение сточных вод в соответствии с нуждами потребления [1]. Развитие технологий позволяет сделать работу КНС автоматизированной, поэтому нам необходимо разработать систему управления и подобрать все необходимое оборудование в соответствии с существующими требованиями и нормами, а также учесть особенности технологического процесса.

Рассмотрим КНС с максимальным притоком сточных вод 22,29 л/с. Количество насосных агрегатов в данном случае будет: 2 рабочих, 1 резервный и 1 на складе, что соответствует первой категории надежности [2].

Для реализации автоматизированной системы управления (АСУ) выбраны устройства: 5 поплавковых датчиков уровня ПСУ-1/10, 2 гидростатических датчика уровня LMK 858 416, 2 электромагнитных расходомера-счетчика СИМАГ-12, 2 датчика давления ДМК 331. Поступающие от них сигналы будут обрабатываться в программируемом логическом контроллере SM252. К уменьшению ресурсоёмкости на производстве приведет максимальное использование вычислительной

техники и электроники, то есть минимизируется участие человека в производственных процессах [3].

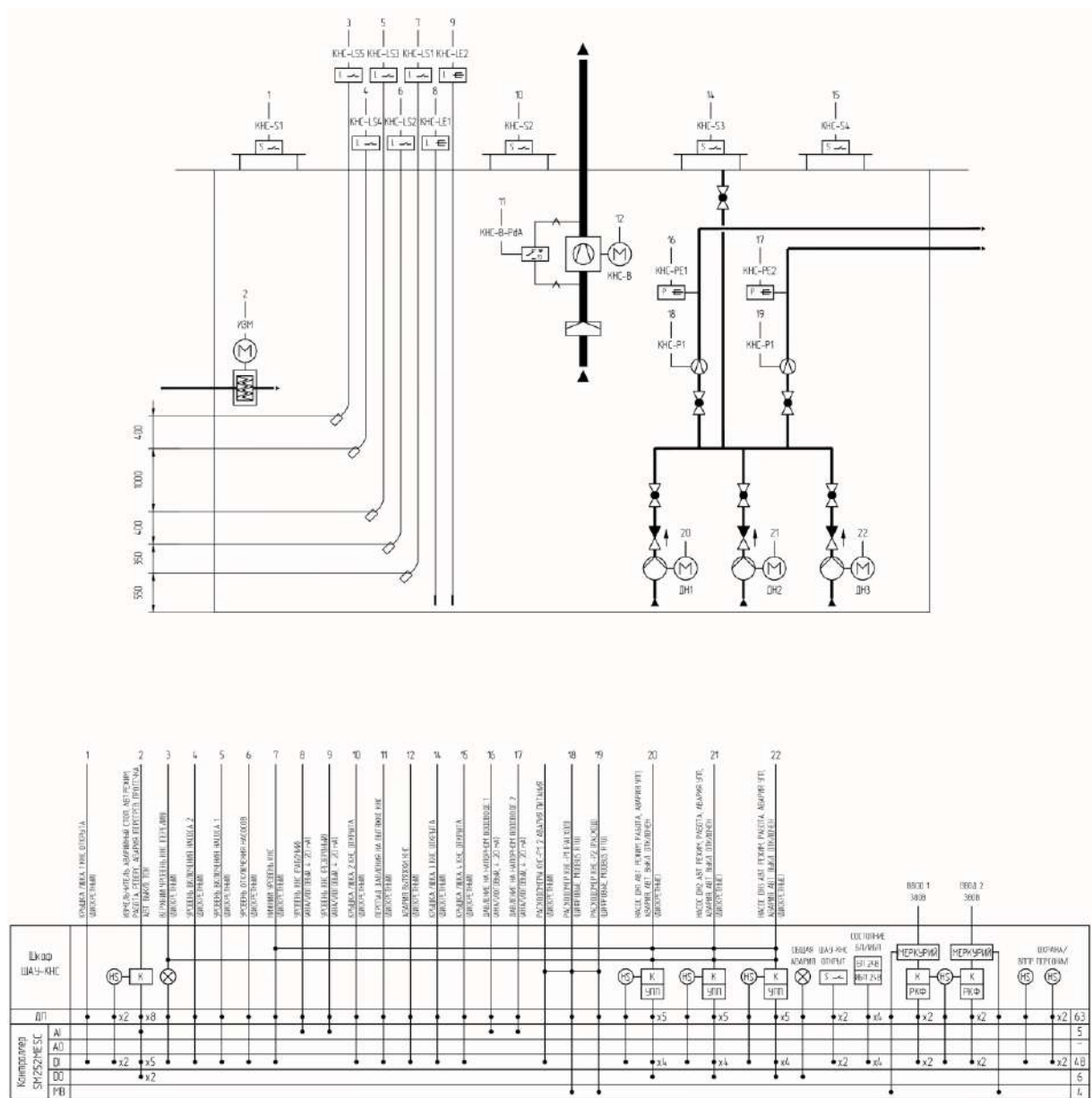
Алгоритм работы КНС следующий: первый датчик «сухой ход» обеспечивает аварийное отключение всех насосных агрегатов, для исключения ситуации работы насосов «в сухую», второй датчик - отключение насосного агрегата в случае понижения уровня сточных вод в приемном резервуаре до минимального, третий датчик осуществляет включение рабочего насосного агрегата при достижении определенного уровня сточных вод, четвертый датчик осуществляет включение дополнительного рабочего насосного агрегата при нехватке производительности основного, пятый датчик «перелив» - подает сигнал, что поступающие стоки, превышают расчетный объем и в работу подключается резервный насос и качается данный объем вместе с первыми насосами до отметки отключения (уровень 2). Также пятый датчик сигнализирует об аварийных ситуациях: отказ одного из насосных агрегатов в случае их работы при поступлении стока, превышающего расчетный. Уровни включения/выключения для гидростатического датчика определяются при дальнейшей отладке АСУ в зависимости от отметок сухого хода и перелива.

Основной алгоритм определен, однако необходимо учесть такие моменты как: установка измельчителя для обработки поступающих в КНС сточных вод с крупными осадками, установка корзины для сбора мусора на случай ремонта измельчителя, установка на отводящие трубопроводы расходомеров-счетчиков и датчиков давления после них, установка вентиляции с датчиком перепада давления.

Запуск насосных агрегатов осуществляется путем использования устройств плавного пуска (УПП), которые устанавливаются на каждый насос. Смысл использования УПП состоит в последовательном поочередном безопасном запуске и торможении каждого насоса вместо группового запуска или останова сразу всех агрегатов, обеспечивая снижение провалов напряжения питающей сети, уменьшение стоимости электрооборудования и надежный запуск насосов КНС в работу [4].

Неотъемлемой частью проектирования АСУ является разработка функциональной схемы автоматизации, которая показывает не только структуру автоматизируемого технологического процесса, но и содержит описание параметров работы технических средств. Для рассматриваемой КНС такая схема представлена на рисунке [5]. Дополнительно в системе появляются счетчики электроэнергии, шкаф автоматизации и концевые выключатели. Все это необходимо, чтобы реализовать коммерческий учёт

затрачиваемого электричества, ручное управление насосными агрегатами и сигнализацию на открытие люков в КНС.



Функциональная схема автоматизации

Таким образом, в статье предложен вариант реализации АСУ для описанной выше КНС путем установки датчиков, контролера и УПП. Был описан алгоритм работы системы, включающий входные и выходные сигналы системы, была разработана ФСА. Также учтён вопрос организации вентиляции и измельчения с отдельными для них датчиками.



### Источники

1. Алексеева Г.Н. Канализационная насосная станция / Г.Н. Алексеева, А.А. Малиновская, Д.П. Мироненко // Вологодские чтения. – 2009. – № 76. – С. 141-143. – EDN MSTIMF.

2. СП 32.13330.2012. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения: актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85: утвержден Минрегионом Российской Федерации 29.12.2011 № 635/11: введен 01.01.2013. – Москва: ГУП ЦПП, 2012. – 83 с.

3. Минаева А.В. Проблемы внедрения автоматизации в производство / А.В. Минаева, М.А. Сафин // 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. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 303-305. – EDN UJNGFE.

4. Патент на полезную модель № 122102 U1 Российская Федерация, МПК E03F 5/00. Автоматизированная система управления работой канализационной насосной станции: № 2012126252/13: заявл. 22.06.2012: опубл. 20.11.2012 / О. В. Крюков; заявитель Открытое акционерное общество "Гипрогазцентр". – EDN ZWKMYX.

5. ГОСТ 21.208-2013 Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах: дата введения 2013-12-17. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 26 с.

УДК 658.589

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАРОВОДЯНОГО ТРАКТА КОТЛА БГМ-35М

Пирогова Александра Михайловна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

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

alexndra200204@gmail.com

В статье рассмотрен пароводяной тракт котла БГМ-35м на производстве ООО «Буинский сахар». Приведены анализ и результаты модернизации данного объекта, а также представлены схемы, разработанные при работе.

**Ключевые слова:** модернизация, котел, пароводяной тракт, автоматизированная система управления, контроль.

# MODERNIZATION OF THE STEAM-WATER PATH OF THE БГМ-35M BOILER

Pirogova Alexandra M.

Scientific advisor Safin Marat A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

alexndra200204@gmail.com

The article considers the steam-water path of the boiler BGM-35m at the production of LLC «Buinsky sugar». The analysis and results of the modernization of this facility are presented as well as the schemes developed during the work.

**Keywords:** modernization, boiler, steam-water tract, automated control system, control.

В настоящее время многие производства осуществляют модернизацию и реконструкцию, что играет ключевую роль в повышении надежности и производительности оборудования, а также в повышении КПД и экономии ресурсов.

В данной работе была произведена модернизация пароводяного тракта котла БГМ-35М на производстве ООО «Буинский сахар». Данный паровой котлоагрегат имеет следующие параметры:

- производительность котла – 35 т/ч;
- избыточное рабочее давление – 4 МПа;
- давление в барабане котла – 4,4 МПа;
- температура перегретого пара - 440 °С;
- вид топлива - газ, мазут марки 100.

Пароводяной тракт включает в себя: трубопровод питательной воды и перегретого пара, барабан котла, пароохладитель и пароперегреватель, а также регулируемые клапаны и технические средства измерения параметров [1].

Целью работы была модернизация системы управления технологическим процессом для экономии энергоресурсов, повышения оперативности управления и производительности труда, повышения надежности и безопасности работы пароводяного тракта котла.

В пароводяном тракте необходимо контролировать и регулировать сразу несколько процессов.

Во-первых, процесс питания котла водой. Для выработки необходимого количества топлива нужно определенное количество воды. Чтобы поддерживать требуемый уровень воды в барабане используют

трёхимпульсную автоматизированную систему регулирования (АСР). Главной регулируемой величиной является уровень воды в барабане, также измеряется расход питательной воды и расход перегретого пара на выходе из котла. Все эти сигналы поступают в регулятор, который обрабатывает их и выдает необходимое воздействие на регулирующий клапан питания котла водой.

Во-вторых, процесс образования пара и доведение его до необходимой температуры. Точность поддержания заданного значения температуры перегретого пара на выходе влияет на экономичность и надежность работы котла. Главным сигналом является температура перегретого пара на выходе из пароперегревателя, а также температура питательной воды на входе в котел. Для поддержания температуры на заданном значении, с регулятора идёт воздействие на регулирующий клапан на впрыск холодной воды в пароохладитель.

В-третьих, процесс нагрева воды перед барабаном в экономайзере, для возможности использования тепла уходящих газов и снижения расхода топлива котла. Чтобы поддерживать температуру питательной воды на вход в барабан, измеряют температуру до и после экономайзера, и в зависимости от этих параметров, регулятор подаёт определённый сигнал на клапан питательной воды, расположенный перед экономайзером.

В-четвертых, растопка котла, которая происходит при минимальном уровне воды в барабане. Чтобы поддержать необходимые условия для растопки, в пароводяном тракте измеряют уровень воды и давление в барабане. Сигналы поступают на регулятор, который воздействует на растопочный клапан питания котла водой.

Таким образом, для такого сложного процесса необходима автоматизированная система управления (АСУ), которая будет обеспечивать безопасность и точность регулирования всех параметров [2-3].

На данном предприятии была частичная АСУ, которая требовала постоянного присутствия обслуживающего персонала, не отвечала современным нормам безопасности и экологичности. Также был износ оборудования, которое увеличивало энергозатраты.

В данном случае была проведена модернизация на трёх уровнях автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП). На разработанной функциональной схеме автоматизации (ФСА) (рис. 1) можно увидеть протекающие процессы в пароводяном тракте котла, структуру автоматического контроля, управления и

регулирования, оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации.

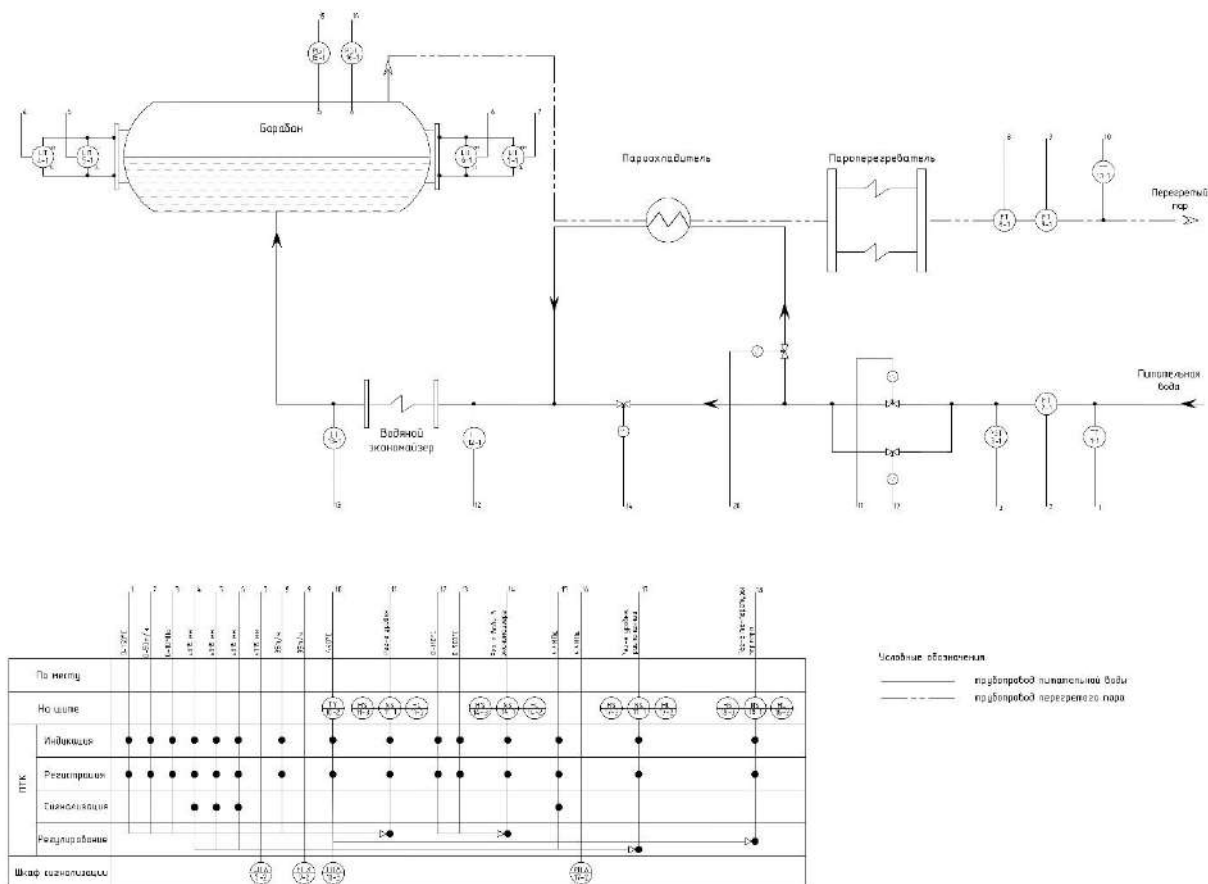


Рис. 2. ФСА пароводяного тракта

На нижнем уровне были подобраны новые датчики для измерения параметров, а также регулирующие органы. На среднем уровне выбран микропроцессорный программируемый контроллер, обеспечивающий выполнение функций сбора, первичной обработки входных сигналов, автоматического управления и регулирования. На верхнем уровне было обновлено автоматизированное рабочее место оператора, где отображается информация о технологическом процессе и происходит дистанционное управление [4]. Структурная схема комплекса технических средств представлена на рис. 2.

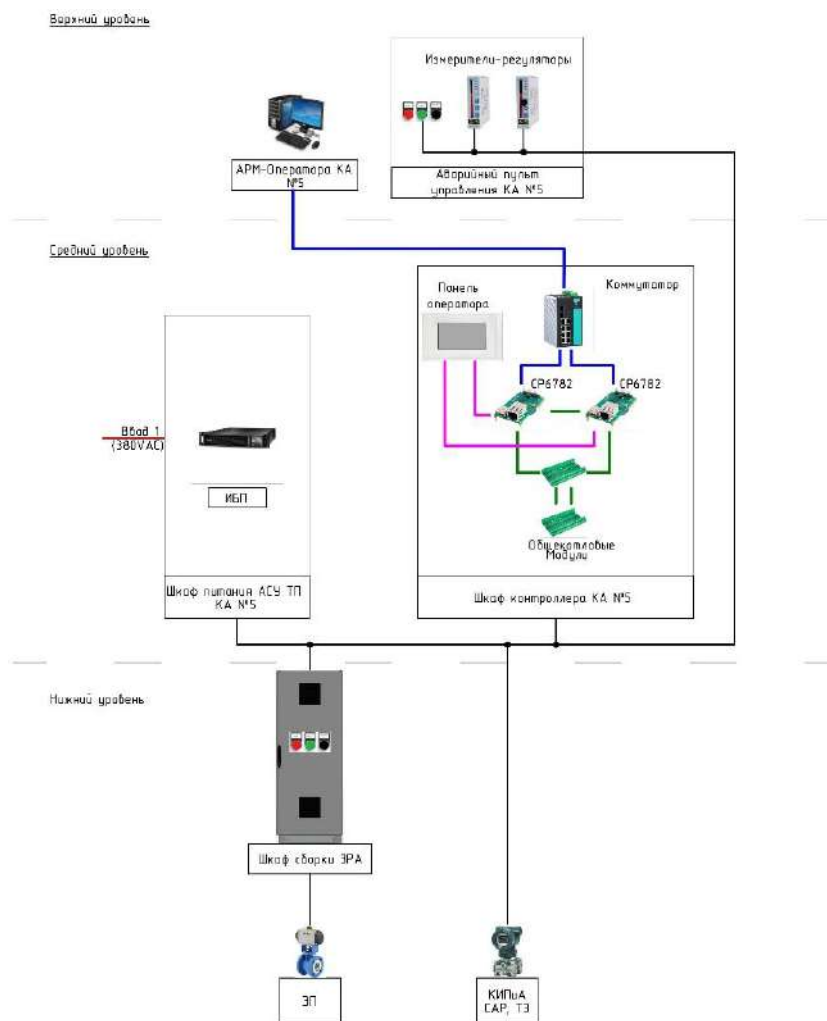


Рис. 3. Структурная схема комплекса технических средств

Таким образом, модернизация пароводяного тракта котла БГМ-35м на ООО «Буинский сахар» поможет повысить эффективность работы котла. Это приведет к снижению расхода топлива и увеличению производительности. Улучшение системы контроля и безопасности пароводяного тракта поможет предотвратить аварийные ситуации и обеспечит безопасную эксплуатацию котла. Улучшение АСУ позволит оптимизировать процессы работы и производительность котла.

### Источники

1. Бузников Е.Ф., Роддатиса К.Ф., Берзиньша Э.Я. Производственные и отопительные котельные. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 248 с.
2. Шабалин И.А., Озеров М.Ю. Автоматизация парового котла // Молодежный вестник УГАТУ. 2023. № 2. С. 139-146.

3. Минаева А.В., Сафин М.А. Проблемы внедрения автоматизации в производство // Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация". - Казань: 2020. - С. 303-305.

4. Сафаров И.М., Давлетхузина Э.М., Ишмухаметова Д.М., Баширова Л.И., Садыков Р.Д., Хлебников Д.А. Состояние уровня автоматизации энергетических объектов и решения, направленные на его повышение // Инженерный вестник Дона. - 2022. - №1. - С. 89-96.

УДК 681.5

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫМ АГРЕГАТОМ**

Стукало Роман Евгеньевич

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

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

stukalo.roma@yandex.ru

В данной статье выполнен анализ системы охлаждения природного газа на установке низкотемпературной конденсации. Проанализирован турбодетандер представляющий собой сложное техническое устройство, которое имеет множество конструктивных особенностей, которые могут быть классифицированы по различным признакам. Рассмотрели структуру и функции системы автоматического управления работы турбодетандерного агрегата.

**Ключевые слова:** система, работа, турбодетандер, газ, информация, охлаждение, эффективность, температура, управление, данные, компрессор, оборудование.

## **AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR TURBO EXPANDER UNITS**

Stukalo Roman E.

Scientific advisor Safin Marat A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

stukalo.roma@yandex.ru

In this article, an analysis of the natural gas cooling system at a low-temperature condensation plant is performed. The turbo expander is analyzed, which is a complex technical device that has many design features that can be classified according to various

criteria. We examined the structure and functions of the automatic control system for the operation of the turbodetander unit.

**Keywords:** system, operation, turbo expander, gas, information, cooling, efficiency, temperature, control, data, compressor, equipment.

Система автоматического управления (САУ) турбодетандерным агрегатом (ТДА) является частью установки низкотемпературной конденсации, которая предназначена для сжижения транспортируемого природного газа. На сегодняшний день система охлаждения является ключевым элементом для эффективной и надежной транспортировки природного газа. Так же она может сократить вложения в транспортную систему на 15 - 80 % в зависимости от степени охлаждения. Ведь при понижении температуры газа пропускная способность газопровода возрастает [1].

ТДА представляет собой низкотемпературную турбину, которая используется для охлаждения и сжижения газов при низких температурах. При быстром расширении газа, вызванном снижением давления, и при совершении механической работы вращения ротора, приводит к интенсивному охлаждению газа. Так же рабочее колесо компрессора вращается вместе с ротором. Именно отвод энергии, производимый рабочим телом при его расширении, позволяет эффективно производить холод с температурой на выходе до  $-80^{\circ}\text{C}$  [2].

Кроме того, турбодетандеры позволяют использовать энергию, вырабатываемую при расширении газа в турбине, для повышения эффективности технологического процесса. Выбор полезной нагрузки для турбины позволяет производить выработку электрической энергии или частично восстанавливать давление, затраченное при охлаждении газа [3].

Применение ТДА в газовой промышленности началось в 1971 году на Шебелинском месторождении. Опыт был успешным, и использование ТДА для подготовки газа к транспортировке было признано перспективным, но данные установки применялись сезонно - только в летние периоды года. Это было связано с тем, что они не были предназначены для работы при очень низких температурах. В 1986 году парк был расширен, включая внедрение ТДА с круглогодичной эксплуатацией. На сегодняшний день турбодетандеры помимо нефтегазовых промыслов широко применяются в химических отраслях и черной металлургии.

Современные турбодетандеры имеют разные конструктивные особенности, включая расположение вала (горизонтальное или вертикальное), тип турбины (осевую или радиальную), тип соплового

аппарата (регулируемый или нерегулируемый), тип подшипников (масляный или магнитный) и тип полезной нагрузки (электрогенератор или газовый компрессор). Также можно выделить типы компрессоров (осевые или центробежные), однако в настоящее время в основном используются центробежные компрессоры.

ТДА является дорогостоящей установкой, которая требует высококвалифицированного персонала, хоть неполадки в работе турбодетандера редки. При работе с ними необходимо следить за: попаданием твёрдых частиц в проточную часть, разбалансировкой ротора, искривлением вала, состоянием подшипников и масляных систем.

Таким образом регулирование работы турбодетандеров занимает ключевую роль в обеспечении высокой эффективности работы не только системы охлаждения, но и установки низкотемпературной конденсации. Для сокращения расходов на техническое обслуживание, улучшения эксплуатационных характеристик, обеспечения надежной и безопасной работы оборудования необходимо разобрать какой структурой и функциями будет обладать САУ [4].

Для повышения эффективности САУ и сокращения числа ошибок при выполнении управляющих алгоритмов, было принято решение использовать многоуровневую структуру. [5]. Эта структура позволит более эффективно управлять системой, так как каждый уровень управления выполняет свою задачу, а информация передается между уровнями управления, и каждый уровень контролирует и оптимизирует работу предыдущего уровня.

Оптимизация режимов работы турбодетандера позволяет повысить эффективность работы всей системы и срок его службы. Для эффективной работы САУ ТДА должны выполняться следующие функции:

1. Автоматизированный сбор данных и первичная обработка информации о технологических параметрах, таких как температура, давление, расход и т. д.

2. Предупредительная и аварийная сигнализация при выходе технологических параметров за установленные границы и при обнаружении неисправностей в работе оборудования системы.

На экране монитора персонального компьютера (ПК) предусмотрена световая индикация с выдачей детальной информации о событиях.

3. Система мониторинга и контроля технологических процессов в режиме реального времени предназначена для наблюдения за работой оборудования и процессов на предприятии, а также для предотвращения возможных аварийных ситуаций путем оперативного реагирования. Она вычисляет оптимальное значение управляющего воздействия, проверяет его



на соответствие допустимым пределам (максимальному и минимальному значениям) и передает на исполнительные устройства с периодом не более одной секунды [6].

4. Представление технологической и системной информации в удобном для восприятия и анализа виде. Функция отображения информации обеспечивает по запросу оператора вывод на экран монитора ПК оперативной информации о работе объектов автоматизации, представляемой в виде мнемосхем, трендов и таблиц.

5. В САУ данные регистрируются и архивируются в хронологическом порядке, что обеспечивает возможность последующего просмотра, анализа и использования информации для оптимизации работы системы. Это позволяет эффективно управлять процессами и принимать обоснованные решения на основе собранных данных, что способствует повышению производительности и надежности системы автоматического управления. Для архивирования данных, хранящихся в памяти ПК, с возможностью их копирования на диски и/или магнитооптическое устройство.

6. Система должна иметь функционал для восстановления и поддержания целостности данных. Это необходимо для обеспечения надежной защиты от аварий, которые могут повредить базы данных и программное обеспечение. Сбои в техническом обеспечении системы или потеря питания не приведут к поломке операционной системы, утрате её конфигурации или изменению настроечных параметров функциональных элементов.

7. Самодиагностика, выдача сообщений по отказам и предотвращение их последствий.

Парк ТДА, эксплуатируемых на территории России, к 2036 году может увеличиться вдвое, и прирост составит более 200 единиц. Для обеспечения эффективной работы САУ необходимо иметь высококвалифицированный персонал, способный обслуживать и поддерживать оборудование на всех этапах его жизненного цикла. Также важно разработать и внедрить нормативные документы, которые будут регулировать качество эксплуатации. Это позволит обеспечить стабильную и надежную работу САУ, минимизировать риски сбоев и обеспечить оптимальное функционирование ТДА.

## Источники

1. Охлаждение - транспортируемый газ / Большая энциклопедия нефти и газа [Электронный ресурс]. URL:

<https://www.ngpedia.ru/id236448p1.html#:~:text=Одним%20из%20важных%20элементов%20газотранспортных,газа%20пропускная%20способность%20газопровода%20возрастает> (дата обращения: 25.02.2024).

2. Общие сведения и классификация детандеров. Область применения / КиберПедия [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberpedia.su/11x9cab.html> (дата обращения: 26.02.2024).

3. Хетагуров В.А., Слугин П.П., Воронцов М.А., Кубанов А.Н. Опыт и перспективы применения турбодетандерных агрегатов на промышленных технологических объектах газовой промышленности России / электронная библиотека «КиберЛенинка». URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-i-perspektivy-primeneniya-turbodetandernyh-agregatov-na-promyslovyh-tehnologicheskikh-obektah-gazovoy-promyshlennosti-rossii> (дата обращения: 27.02.2024).

4. Сафин М.А., Сафиуллина А.Ф. / Безопасность и автоматизация в условиях нефтегазовой промышленности / Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8 № 8(34) с. 32–36

5. Трёхуровневое строение систем промышленной автоматике / Nord West Tool [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nordwesttool.ru/statyi/stroenie-sistem-avtomatiki/> (дата обращения: 26.02.2024).

6. АСУ ТП «Установки подготовки нефти» Федюшкинского нефтяного месторождения / Pandia [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/78/654/88398.php> (дата обращения: 27.02.2024).

УДК 66.021.4

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ ГРАДИРНЕЙ ТИПА СК**

Тазеев Нияз Фанисович<sup>1</sup>, Ильина Анжелика Андреевна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>tazeevniaz870@gmail.com, <sup>2</sup>anjelka97@yandex.ru

В данной статье описывается система автоматического управления градирней типа СК. Система представляет собой комплекс автоматических устройств, позволяющих производить эффективное и безопасное управление работой градирни как дистанционно, так и по месту. Статья охватывает технические аспекты

проектирования и реализации, включая описание уровней автоматизации, функций системы, конструкции градирни, а также структуру информационной системы и алгоритм управления вентилятором градирни.

**Ключевые слова:** градирня, система автоматического управления, охлаждение воды, водооборотная вода, вентилятор, температура воды.

## AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR SK TYPE FAN COOLING TOWER

Tazeev Niyaz F.<sup>1</sup>, Ilyina Anzhelika A.<sup>2</sup>

Scientific advisor Safin Marat A.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>tazeevniaz870@gmail.com, <sup>2</sup>anjelka97@yandex.ru

This article describes the automatic control system for an SK type cooling tower. The system is a set of automatic devices that allow efficient and safe control of the cooling tower operation both remotely and locally. The article covers technical aspects of design and implementation, including a description of automation levels, system functions, cooling tower design, as well as information system structure and cooling tower fan control algorithm.

**Keywords:** cooling tower, automatic control system, water cooling, water circulation, fan, water temperature.

В соответствии с правительственной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года по развитию химического и нефтехимического сектора, наблюдается увеличение производства в этих областях, строительство новых и модернизация существующих предприятий [1].

В основе многих процессов, происходящих на химических производствах, лежат экзотермические реакции с выделением большого количества тепла. Чаще всего для этого используются теплообменники - устройства, в которых происходит теплообмен между средами, отличающимися своей температурой. А вот хладагентом для теплообменников очень часто выступает обратная вода, которая впоследствии охлаждается именно на градирнях. На крупных производствах объем оборотной жидкости составляет несколько тысяч кубометров.

Модернизация и разработка градирен также входят в стратегию Правительства Российской Федерации, в которой импортозамещение отечественными компонентами является особенно важной задачей [2].

Вентиляторная градирня типа СК – это автономная башенная градирня (от немецкого "Selbständig Kühlturm", сокращенно SK). Конструкция такой градирни представляет собой комбинированную установку из объединения преимуществ вентиляторной и башенной градирен. Они всегда имеют одну круглую или многогранную секцию, отличающуюся большим диаметром и высотой, что позволяет им для создания воздушного потока применять как вентилятор, так и разницу давлений из-за перепада высот [3]. Такие градирни состоят из: диффузора; обшивки градирни; водораспределителей; оросителей; водоуловителей; бассейна; вентиляторной установки.

Целями создания системы автоматического управления (САУ) градирней является обеспечение:

- эффективной работы и высоких эксплуатационных показателей объекта управления, необходимого уровня безопасности и безаварийности технологического оборудования, а также снижения риска тяжелых аварий;
- автоматизированного пуска оборудования из холодного, различной степени неостывшего и горячего состояний по соответствующим алгоритмам в соответствии с графиком пуска и инструкциями по эксплуатации оборудования;
- автоматизированного пуска оборудования, как при штатных пусковых схемах, так и с учетом технологических ограничений;
- качественного поддержания параметров охлаждения оборотной воды в регулируемом диапазоне;
- предоставления оперативному персоналу текущей информации о состоянии оборудования и ходе технологического процесса в виде, удобном для восприятия оперативным персоналом, и достаточном для достоверной оценки состояния, а также для своевременного распознавания и идентификации отказов;
- регистрации аварийных ситуаций;
- предотвращения ошибочных действий персонала путем своевременной сигнализации и автоматической блокировки ошибочных команд управления;
- снижения затрат на эксплуатацию и ремонт оборудования.

Соответственно в вентиляторных градирнях типа СК САУ осуществляет регулирование оборотами вентиляторной установки, а если быть точнее электродвигателя, при помощи преобразователя частоты (ПЧ), управление электродвигателями задвижек и ТЭНами антикондесатного подогрева электродвигателя и подогрева масла в редукторе. И для качественного регулирования и поддержания параметров в составе САУ

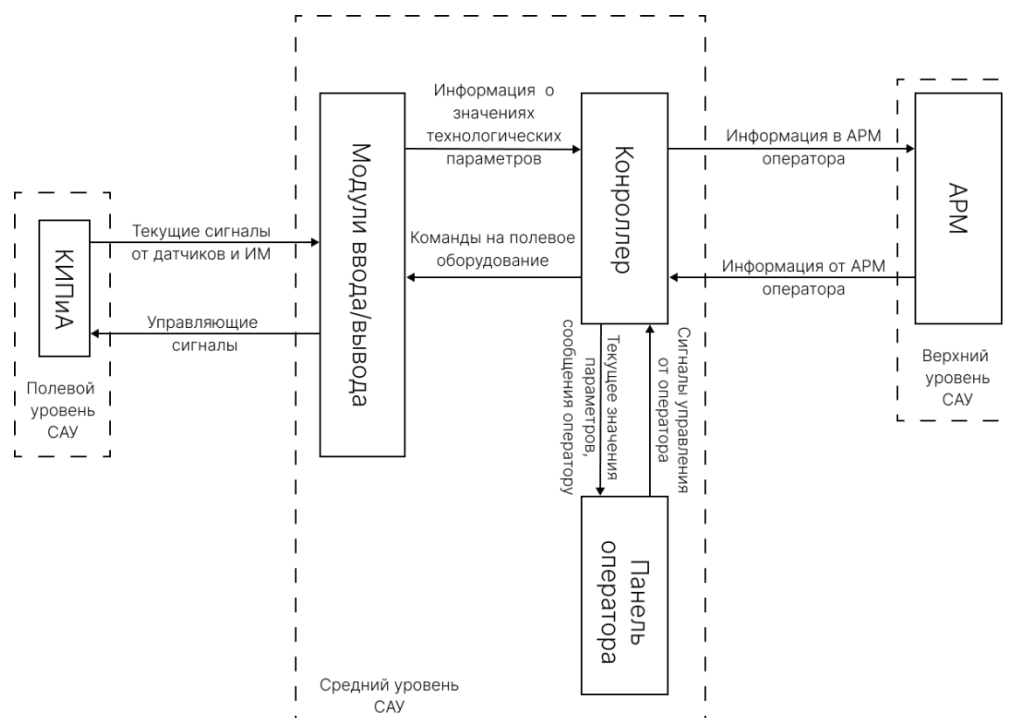
применяются контрольно-измерительные приборы (КИП) [4]. САУ градирни в основном включает следующие КИП:

1. датчики температуры/давления нагретой воды;
2. расходомер оборотной воды;
3. датчики температуры, уровня воды в бассейне градирни;
5. датчики уровня вибрации вентилятора;
6. датчики контроля температуры нижнего и верхнего подшипника электродвигателя;
7. датчик температуры, уровня/давления масла в редукторе.

Как и во многих САУ в составе САУ градирни выделяют полевой (нижний), средний и верхний иерархические уровни, связь между которыми происходит по информационной модели, представленной на рисунке. В стационарном режиме работы контроллер осуществляет управление системой при помощи двухсторонней связи с контрольно-измерительными приборами и автоматикой. Однако, в случае необходимости, оператор и инженер через автоматизированное рабочее место (АРМ) или панель оператора могут вносить изменения в систему, меняя уставки и другие доступных параметры.

Упрощенно алгоритм управления электродвигателем состоит в следующем: на ПИД-регулятор поступают сигналы уставки ( $^{\circ}\text{C}$ ), температуры воды в приемном бассейне ( $^{\circ}\text{C}$ ) и обороты двигателя (%), а также режим управления (ручной или автоматический), задание оборотов от оператора (%). На основании этого рассчитывается выходной сигнал (%), который передается на ПЧ.

Однако параллельно происходит проверка исправности системы, например, нет ли сигналов аварий, измерений режима работы («Пуск ПЧ», «Пуск Реверс ПЧ», «Пуск Байпас»), и в положительном случае происходят соответствующие действия, прописанные в алгоритмах управления системы.



Информационная модель

В заключении, САУ градирни типа СК является эффективным и надежным инструментом для оптимизации работы и контроля за технологическими процессами водоохлаждения оборотной воды в градирне. Ее применение позволяет сократить расход электроэнергии и ресурсов градирни. Благодаря использованию современных технологий и датчиков, система обеспечивает высокую точность регулирования параметров работы градирни и безопасность эксплуатации оборудования.

## Источники

1. Приказ "Об утверждении Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса на период до 2030 года" от 8 апреля 2014 года N 651/172 (с изменениями на 14 января 2016 года) // docs.cntd URL: <https://docs.cntd.ru/document/420245722> (дата обращения 06.03.2024).

2. Столярова Е.Ю. Повышение тепловой эффективности охлаждения воды в пленочной градирне с комбинированными блоками оросителей: специальность 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Столярова Екатерина Юрьевна; Казанский государственный энергетический университет. - Казань, 2024. - 194 с. - Библиогр.:

с. 142-159. - Место защиты: Казанский государственный энергетический университет. - Текст: непосредственный.

3. ГРАДИРНЯ СК-400 И СК-1200 / НПО Агростройсервис: [сайт]. — URL: <https://acs-nnov.ru/gradyrni-sk400-sk1200.html> (дата обращения: 07.03.2024).

4. Баянов А.И. Автоматизированная система управления двигателями на базе оборудования Siemens / А.И. Баянов, С.А. Зайцев, М.А. Сафин // Тинчуринские чтения - 2020 «Энергетика и цифровая трансформация» / ред. Э.Ю. Абдуллазянов. – Казань, 2020. – С. 283-285.

УДК 679.18

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА

Фаизов Нарис Наилович

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Богданова Наталия Владимировна

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

[naris.faizov@yandex.ru](mailto:naris.faizov@yandex.ru)

В статье разработана автоматизированная система управления оборотного водоснабжения, рассмотрены этапы проектирования на производственном участке с использованием отечественного оборудования, описан принцип действия системы и схема автоматизации. Так же обсуждается возможность последующей эксплуатации системы, и приводятся результаты работы.

**Ключевые слова:** проектирование, автоматизация, безопасность, система, оборудование, водоснабжение.

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR CIRCULATING WATER SUPPLY AT A PRODUCTION SITE

Faizov Naris N.

Scientific advisor Bogdanova Natalia V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[naris.faizov@yandex.ru](mailto:naris.faizov@yandex.ru)

The article develops an automated control system for recycling water supply, discusses the design stages at a production site using domestic equipment, describes the operating

principle of the system and the automation scheme. The possibility of subsequent operation of the system is also discussed and the results of the work are presented.

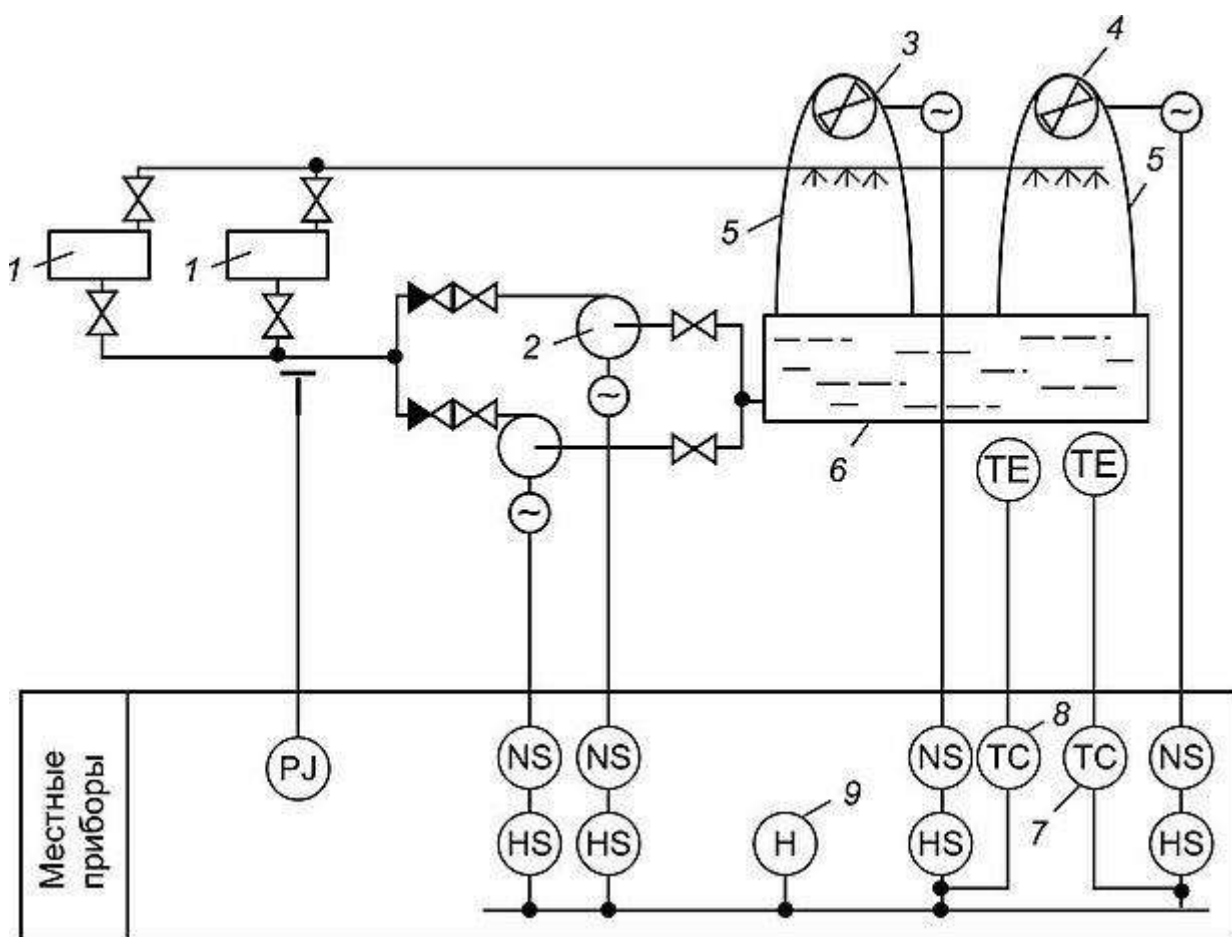
**Keywords:** design, automation, safety, systems, equipment, water supply.

Экономия ресурсов является ключевым фактором на любом производстве. Обратное водоснабжение – система, благодаря которой использованная вода, пройдя систему фильтров, очистку, повторно используется и возвращается к потребителю [1].

В большинстве производств и заводов появляется большая необходимость в охлаждении технологического оборудования, работа которых вызывает выделение большого количества тепла. Охлаждение продуктов в диапазоне от 100°C до 50°C рациональнее и выгоднее производить в воздушных холодильниках, в более меньшем диапазоне от 50°C до 25°C охлаждение осуществляется с помощью системы, представленной в данном тезисе, обратной системы с градирнями. Целью данного доклада будет рассмотрение таких систем, их автоматизация и приведение выгод и преимуществ.

Рассмотрим из чего состоит система обратного водоснабжения: самым важным элементом, участвующем в самом охлаждении жидкости, является вентиляторная градирня, сборный бак, циркуляционные насосы, электрифицированные задвижки, логика работы такова, выбирается режим работы – ручной или дистанционный, далее, при повышении температуры воды в баке на значение больше заданной величины в регуляторе, включаются вентиляторы, установленные на градирнях, при уменьшении температуры, соответственно система вентиляторов работу прекратит (см.рисунки) [2, 3].





Функциональная схема автоматизации системы охлаждения

Задачей автоматизации в данном проекте является: поддержание заданной температуры охлаждающей жидкости, которая поступает на технологическое оборудование, поддержание заданного уровня в сборном баке, управление электродвигателями насосов для подачи нагретой воды на градирни, работа системы обратного водоснабжения предусматривается по нескольким алгоритмам. В ряде следующих ситуаций необходима сигнализация на ящике управления: работа и авария насосов, работа и не включение градирен, уровень в приемках, температура охлажденной и нагретой воды. Для питания цепей управления, контроля и сигнализации используется переменное напряжение частотой 50Гц по категории соответствующей категории питания технологического оборудования. Для электрических проводок цепей используются кабели и провода, прокладываемые в лотках [4.5].

Подводя итог, можно сказать, что системы охлаждения обратного водоснабжения широко используются на развитых производствах во всем мире, так как применение обратного водоснабжения позволяет значительно

экономить на охлаждении оборудования без ущерба качеству охлаждения и не увеличивать время, затрачиваемое на производство продукции.

### **Источники**

1. Крюков О.В., Киянов Н.В. Электрооборудование и автоматизация водооборотных систем предприятий с вентиляторными градирнями. Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2007.

2. Крюков О.В. Автоматизированная система энергосберегающего управления водооборотными системами с градирнями// Газовая промышленность. 2011. №8.

3. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условных приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартинформ, 2007. – 16 с.

4. Журба, М. Г. Водоснабжение: Проектирование систем и сооружений: учебное пособие / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова; общ. ред. М.Г. Журбы. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2010. – Том 1. Системы водоснабжения, водозаборные сооружения. – 396 с.

5. Пужайло А.Ф., Савченков С.В., Репин Д.Г., Крюков О.В. и др. Энергетические установки и электроснабжение объектов транспорта газа/Под ред. к.т.н. О.В. Крюкова. Нижний Новгород: Вектор ТиС, 2013.

УДК 681.3

## **ПРОГРАММА МАТЛАВ, КАК ИНСТРУМЕНТ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ**

Хабиров Тимур Айдарович

Науч. рук. канд. техн. Наук, доц. Сафин Марат Абдулбариевич

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

timhab777@mail.ru

В статье предложен обзор программы Matlab, как инструмент моделирования абсолютно любых решений различных проектов, в которых необходимо достичь высокой точности моделируемого объекта. Статья посвящена многочисленным областям применения Matlab в решении разнообразных научных, технических и экономических задач, а также профессиональным приложениям, расширяющим

возможности Matlab в конкретных областях, в частности в автоматизации технологических процессов.

**Ключевые слова:** модель, автоматизация, Matlab, моделирование, программирование.

## THE MATLAB PROGRAM AS A TOOL FOR MODELING AND AUTOMATING ENGINEERING SOLUTIONS

Khabirov Timur Aidarovich

Scientific advisor Safin Marat A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

timhab777@mail.ru

The article provides an overview of the Matlab program as a modeling tool for absolutely any solutions of various projects in which it is necessary to achieve high accuracy of the simulated object. The article is devoted to numerous areas of application of Matlab in solving various scientific, technical and economic problems, as well as professional applications that expand the capabilities of Matlab in specific areas, in particular in the automation of technological processes.

**Keywords:** model, automation, Matlab, modeling, programming.

В современном мире не обойтись без точных расчетов в разработке высокотехнологичной продукции. Программа Matlab помогает производить такие расчеты на высоком уровне точности.

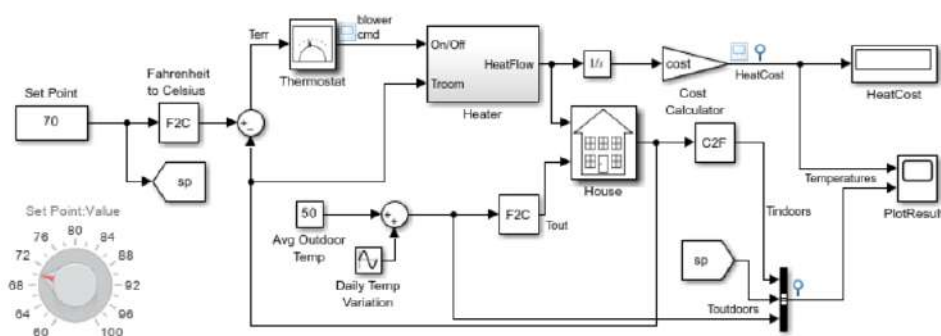
Matlab – язык программирования, который входит в одноименный набор программ, предназначенных для научных вычислений и машинного обучения. Название расшифровывается как Matrix Laboratory. Язык рассчитан на математические вычисления: Matlab поддерживает сотни видов математических функций, матричные структуры данных, векторы, многочлены, интерполяцию и дифференциальные уравнения [1]

Область его применения безгранично широка: IoT, финансы, медицина, космос, автоматика, робототехника, беспроводные системы и многое-многое другое. Эта программа имеет практически неограниченные возможности по сбору и визуализации данных, а также прогнозированию.

Программы, написанные на Matlab, могут быть двух типов — функции и скрипты. Функции имеют входные и выходные аргументы, а также собственное пространство для сохранения промежуточных результатов вычислений. Скрипты же используют общее рабочее

пространство [2]. Как скрипты, так и функции не компилируются в машинный код и сохраняются в виде текстовых файлов.

Для усиления и улучшения этих “способностей” фирма MathWorks вместе с Matlab предоставляет дополнительную интерактивную программу Simulink для моделирования динамических систем. Эта программа позволяет представить исследуемую динамическую систему с помощью соединенных между собой функциональных блоков (блок-диаграммы), а затем изучить её поведение в динамике. Рассмотрим возможности Simulink на примере готовой программы (см. рисунок).



Тепловая модель дома

Эта система моделирует внешнюю среду, тепловые характеристики дома и систему отопления дома. Модель рассчитывает затраты на отопление для обычного дома. Она определяет геометрию дома: размер и количество окон, тепловые свойства материалов дома, рассчитывает тепловое сопротивление дома, предоставляет характеристики нагревателя и определяет стоимость электроэнергии.

В Matlab важную роль играют специализированные группы программ, называемых *toolboxes*. *Toolboxes* — это всесторонняя коллекция функций (*m*-файлов), написанных на языке Matlab для решения определенного класса задач [3]. Компания Mathworks предоставляет наборы инструментов, которые используются во многих областях, включая следующие: цифровая обработка сигналов, изображений и данных, системы управления, финансовый анализ, анализ и синтез географических карт, включая трехмерные, сбор и анализ экспериментальных данных, визуализация и представление данных, научная разработка и нейронные сети [4].

Таким образом, в настоящее время система Matlab далеко вышла за пределы специализированной матричной системы и стала одной из

наиболее мощных универсальных интегрированных программ. Популярности системы способствует ее мощное расширение Simulink, предоставляющее удобные и простые средства, в том числе визуальное объектно-ориентированное программирование, для моделирования линейных и нелинейных динамических систем, а также множество других пакетов расширения системы. В настоящее время система инженерных и научных расчетов Matlab широко распространена в университетах всего мира.

### Источники

1. Дьяконов В.П. Справочник по применению РС Matlab. – М.: «Физмалит», 1993. – С. 112.
2. Дьяконов В.П. SIMULINK 5/6/7. Самоучитель. – Москва: «ДМК-Пресс», 2008. – С. 784.
3. Питер Каттан Matlab for beginners: A Gentle Approach – 2008. – С. 288.
4. Рязанова М.Э. Разработка нейронного регулятора при помощи MATLAB / М.Э. Рязанова, М.А. Сафин // 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. Том 2. – Казань: КГЭУ, 2020. – С. 320-322. – EDN ZJARRT.

УДК 004.942, 004.45, 004.738.5

## РАЗРАБОТКА МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЙ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СОРЕВНОВАНИЙ

Шайхезадин Дамир Инсафович<sup>1</sup>, Шаронов Никита Сергеевич<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Богданов Александр Нетфуллович  
<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 разрабатываемой многопользовательской онлайн-платформы для проведения робототехнических соревнований.

**Ключевые слова:** Многопользовательская платформа, робототехнические соревнования, онлайн-платформа, разработка программного обеспечения, интерактивное управление роботами, веб-сайт для робототехники, удаленное управление роботами.

## **DEVELOPMENT OF A MULTI-USER ONLINE PLATFORM FOR CONDUCTING ROBOTIC COMPETITIONS**

Shaihezadin Damir I. <sup>1</sup>, Sharonov Nikita S. <sup>2</sup>

Scientific advisor Bogdanov Alexander N.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>nik.sharonov.03@mail.ru, <sup>2</sup>Shajhezadin2013@yandex.ru

The article provides a description and functionality of a multi-user online platform being developed for conducting robotic competitions.

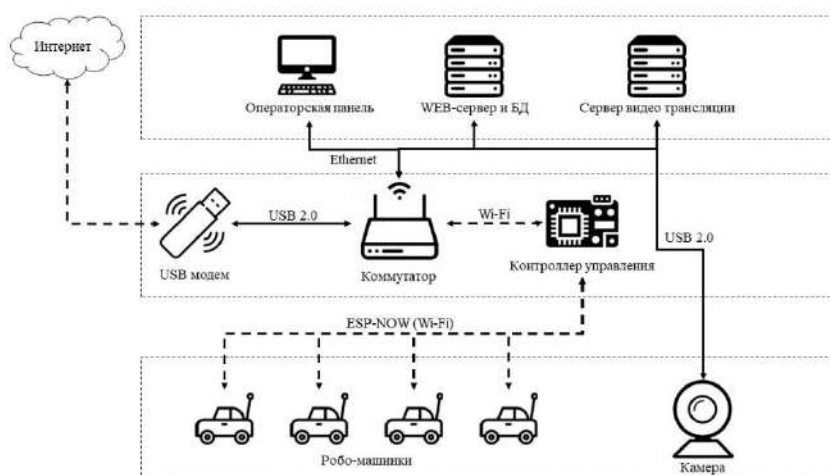
**Keywords:** Multi-user platform, robotics competitions, online platform, software development, interactive robot control, robotics website, remote robot control.

Развитие робототехники и автоматизации в целом невозможно без изменений в образовательном процессе по данным направлениям. Важным и увлекательным элементом образовательного процесса являются соревнования. Однако, основная проблема традиционных соревнований, таких как "Битва роботов", заключается в необходимости физического присутствия участников на месте проведения мероприятия. Это приводит к необходимости их отрыва от учебного или рабочего процесса и создает ограничения для участия в соревнованиях.

Целью проекта является разработка программно-технического комплекса, позволяющего людям со всего мира принимать участие в захватывающих битвах роботов, не покидая стен своего дома, офиса или учебного учреждения. Разрабатываемая платформа позволит перенести традиционные робототехнические состязания в онлайн пространство, где любой желающий сможет стать участником, независимо от своего местоположения [1-3].

Но идея нашей платформы заключается не только в том, чтобы обеспечить доступность и удобство участия в робототехнических соревнованиях, но и в создании образовательной и вдохновляющей среды для всех участников. В дальнейшем планируется добавить возможность удалённого участия в самой разработке новых роботов. В ходе реализации проекта нами был разработан прототип многопользовательской онлайн-

платформы для проведения робототехнических соревнований. Структурная схема ПТК представлена на рисунке.



Структурная схема прототипа ПТК

Программная часть ПТК включает в себя серверное, пользовательское и административное ПО. Система управления роботами реализована так: USB модем поддерживает связь с интернетом и имеет «белый» IP адрес, благодаря чему пользователи из интернета могут подключаться к серверу через интернет. В качестве WEB-сервера и Базы данных работает одноплатный компьютер Raspberry pi, на котором установлен nginx, который занимается распределением запросов между клиентами и сервером, и MySQL база данных. Поддержанием работы видео трансляции занимается одноплатный компьютер Orange pi, который получает картинку с web камеры и выводит ее на сайт управления. Контроллер управления содержит два микроконтроллера ESP32, один из которых опрашивает базу данных, а другой распределяет данные между роботами. Роботы работают на основе ESP8266 и используют в качестве связи упрощенный протокол беспроводной передачи данных ESP-NOW [4-5].

В ходе разработки мы проводили регулярные тестирования прототипа в формате онлайн-турниров с использованием разрабатываемого ПТК. Только в ноябре-декабре нами было проведено 9 онлайн-турниров на 75 участников. После каждого турнира собиралась обратная связь для выявления недостатков нашей разработки. По результатам была осуществлена модернизация прототипа:

1. Разработан персональный сайт, через который участники получали после авторизации ссылки на сайты управления роботами.

2. Разработан административный сайт, с помощью которого администратор взаимодействует с участниками турнира.

3. Протестировано и принято решение в дальнейшем использовать турнирные таблицы на <https://goodgame.ru>.

### **Источники**

1. Янусов А.С., Курганов В.В. Удаленное управление технологическими процессами с использованием web-технологий на примере ООО "Элком+" г. Томск // Перспективы науки. 2019. № 1 (112). С. 8-12. – EDN VELHRC.

2. Шишов О.В. Современные тенденции развития сетевых технологий в АСУ ТП // Промышленные АСУ и контроллеры. 2018. № 9. С. 37-45. – EDN YABXKH.

3. Ким Е.О., Шим А.А. Интернет вещей: перспективы применения // Вестник Челябинского государственного университета. 2019. № 3 (425). С. 230-234.

4. Шайхезадин Д.И., Шаронов Н.С. Разработка программного обеспечения для управления наземными беспилотниками // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация": Материалы Международной молодежной научной конференции. Том 2. – Казань: КГЭУ, 2023. – С. 550-552. – EDN MWSTOD.

5. Хабиров Т.А. Индикация уровня заряда для мобильных роботов // Тинчуринские чтения - 2023 "Энергетика и цифровая трансформация": Материалы Международной молодежной научной конференции. Том 2. – Казань: КГЭУ, 2023. – С. 542-544. – EDN LYQFWO.

УДК 621.3.078

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МЕТАНТЕНКОМ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ЙОШКАР-ОЛА**

Эйтерник Адель Юрьевна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Плотников Владимир Витальевич

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

[adeleyternik@yandex.ru](mailto:adeleyternik@yandex.ru)

В статье рассмотрены существующие проблемы в управлении метантенками очистных сооружений г. Йошкар-Ола. Основное внимание уделено процессу



модернизации автоматической системы управления метантенком. Описаны принцип работы метантенка, а также система подачи избыточного активного ила на устройства для анаэробного брожения.

**Ключевые слова:** автоматическая система управления, очистные сооружения, избыточный активный ил, метантенк, модернизация, сточные воды, биогаз.

## **AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR METHANE TANKS OF TREATMENT FACILITIES IN YOSHKAR-OLA**

Eyternik Adel Yu.

Scientific advisor Plotnikov Vladimir V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

adeleyternik@yandex.ru

The article considers the existing problems in the management of methane tanks of treatment facilities in Yoshkar-Ola. The main attention is paid to the process of modernization of the automatic control system of the methane tank. The principle of operation of the methane tank is described, as well as the system for supplying excess activated sludge to devices for anaerobic fermentation.

**Keywords:** automatic control system, sewage treatment plants, excess activated sludge, methane tank, modernization, wastewater, biogas.

Интенсивность потребления воды населением ежегодно растёт на несколько процентов, что создаёт проблему утилизации органических отходов на очистных сооружениях. Очистные сооружения канализации (ОСК) г. Йошкар-Ола были введены в эксплуатацию в 1967 г. На данный момент на ОСК проводится реконструкция зданий механической и биологической очистки, а также комплекса обработки осадка. К реконструируемым зданиям биологической очистки относятся: аэротенки 3х-коридорные, аэротенки 4х-коридорные, вторичные отстойники диаметром 30 и 40 м и метантенки диаметром 20 м [1].

Учитывая, что метантенки на ОСК г. Йошкар-Ола являются неэксплуатируемыми объектами с момента последней реконструкции в 2013 г., то на данный момент дополнительная обработка осадка (избыточного активного ила) отсутствует как и автоматическая система управления (АСУ). Внедрение АСУ является важным шагом на пути к улучшению экологической ситуации в регионе. В связи с чем и была предложена модернизированная автоматическая система управления.

Избыточный активный ил образуется в процессе очистки сточных вод. Активный ил поступает на насосную станцию метантенков по трубопроводу с первичных отстойников, вторичных отстойников и аэротенков. Далее с насосной станции активный ил распределяется между метантенками.

Метантенк представляет собой цилиндрический резервуар с коническим верхом и дном. Конический верх необходим для скапливания образующегося в процессе метанового брожения биогаза. В метантенке происходит процесс анаэробного брожения, в результате чего образуется биогаз, состоящий из метана и углекислого газа [2]. Внутри метантенка закреплена механическая мешалка, предназначенная для поддержания температуры внутри устройства и равномерного перемешивания биомассы. Помимо этого, для ускоренного процесса метанового брожения сам метантенк изначально прогревают до определенного значения температуры. Биомасса поступает в метантенк сверху через трубопровод, осадок выводится через нижний трубопровод.

Заполнение метантенка осуществляется через открытие клапана, установленного на верхнем трубопроводе. Регулирование клапана происходит по показаниям датчика уровня, установленного в метантенке. При достижении определенного уровня, клапан перекрывает поток избыточного ила [3].

Как говорилось ранее, поддержание температуры внутри метантенка необходимо для ускоренного процесса метанового брожения. Вследствие чего, предусмотрено подогревание биомассы при помощи впрыскивания горячей воды. Открытие клапана, установленного на трубопроводе с горячей водой, осуществляется по показаниям датчика температуры [4]. При выходе значения температуры из допустимого диапазона клапан открывается. Механическая мешалка приводится в действие при помощи электродвигателя и датчика температуры. Включение же производится также по показаниям датчика температуры.

Внутри метантенка в сферическом куполе установлен датчик для непрерывного измерения и контроля давления. Отвод биогаза осуществляется при помощи открытия верхнего клапана [5].

Полученный биогаз поступает на следующую стадию очистки – в фильтр. До и после фильтра установлены датчики измерения содержания углекислого газа, а также датчик перепада давления.

В случае аварийного режима работы: клапаны, установленные на трубопроводе с избыточным активным илом и горячей водой, перекрываются; клапаны, установленные на трубопроводе с отводом биогаза и осадка, открываются.

Очищенный биогаз можно использовать в качестве источника возобновляемой энергии, а осадок может быть применен как органическое удобрение для почвы.

Внедрение АСУ метантенков очистных сооружений в г. Йошкар-Ола позволит сократить расходы на обслуживание и обеспечит более высокое качество очистки. Помимо этого, разработанная система позволит повысить ее безотказность и обеспечить безопасность человека.

### Источники

1. Реконструкция очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы // I-OLA.RU URL: [HTTPS: //i-ola.ru/city/fynance/trade/public\\_discuss/2019\\_08\\_07\\_OTR1.pdf](https://i-ola.ru/city/fynance/trade/public_discuss/2019_08_07_OTR1.pdf)
2. Васина М.В. Повышение эффективности механической очистки сточных вод очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия / М.В. Васина, Н.В. Стрельникова // Молодой ученый. — 2016. — № 12 (116). — С. 555-559. — URL: <https://moluch.ru/archive/116/31668/> (дата обращения: 08.03.2024).
3. Капалев И.С. Прогрессивные методы очистки сточных вод / И.С. Капалев, В.И. Тарасенко // Молодой ученый. — 2016. — № 10 (114). — С. 395-396. — URL: <https://moluch.ru/archive/114/30309/>
4. Харченко Э.Н. Очистка сточных вод на биологических очистных сооружениях г. Петров Вал / Э.Н. Харченко // Молодой ученый. — 2014. — № 10 (69). — С. 67-69. — URL: <https://moluch.ru/archive/69/11833/>
5. Чаусов Д.С. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом очистки сточных вод / Д.С. Чаусов, М.А. Трушников // Молодой ученый. — 2018. — № 5 (191). — С. 47-50. — URL: <https://moluch.ru/archive/191/48196/>

## Секция 6. Теплофизика

УДК 66.074.2

### МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С ДУГООБРАЗНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Абдуллина Азалия Айратовна

Науч. рук. к.т.н. Зинуров Вадим Эдуардович

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

azalkaabdullina69826@gmail.com

В настоящее время различные очистительные сепарационные устройства играют важную роль в поддержке чистоты окружающей среды. В данной статье описан результат математического исследования устройства, являющегося альтернативой уже имеющимся.

**Ключевые слова:** очистка газового потока, математическое моделирование, твёрдые частицы, сепаратор с дугообразными элементами.

### MATHEMATICAL STUDIES OF A SEPARATION DEVICE WITH ARC-SHAPED ELEMENTS

Abdullina Azalia A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

azalkaabdullina69826@gmail.com

Industrial enterprises all over the world face the problem of air pollution from industrial emissions, which negatively affect the environment and human health. To solve this problem, various separation devices are used. The article presents a device that is an alternative to the existing ones.

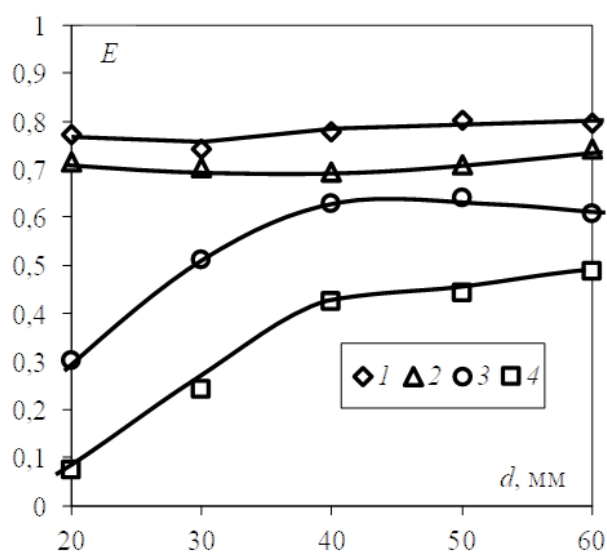
**Keywords:** gas flow purification, mathematical modeling, solid particles, separator with arc-shaped elements.

В настоящее время применение очистительных сепарационных устройств играет важную роль в поддержке чистоты окружающей среды, а также в обеспечении безопасности в различных отраслях промышленности, включая химическую, нефтегазовую, пищевую и др. Например, разработка более эффективных фильтров, использование новых материалов и катализаторов, а также внедрение автоматизированных

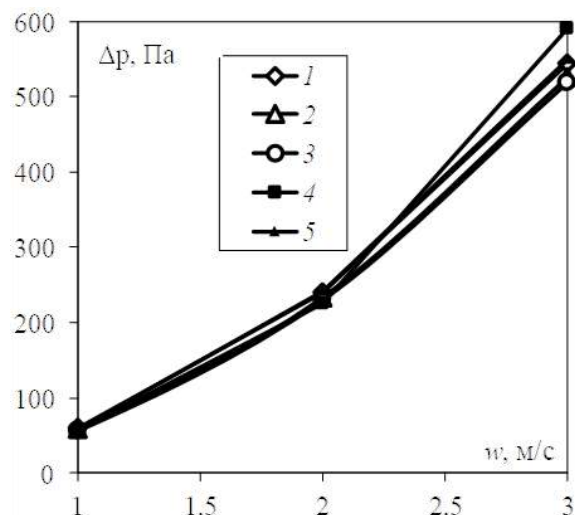
систем мониторинга и управления помогают снизить негативное воздействие промышленных выбросов на окружающую среду. К данным устройствам можно отнести циклоны, инерционные сепараторы, электрофильтры и прочие. Данные устройства помогают снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, а также повысить эффективность производства за счет улучшения условий работы оборудования и условий безопасности труда персонала. Они обладают своими достоинствами, в основном связанными с простотой использования, относительно высокой степенью очистки, а также недостатками, выражающихся в повышенной стоимости устройств, огромных габаритов. Очистка газовых потоков также имеет большое значение в повышении энергоэффективности производственных процессов. Удаление загрязнений из газовых потоков позволяет эффективнее использовать ресурсы, такие как топливо или энергия, за счет снижения потерь и улучшения работы оборудования.

Для решения данной проблемы предложено сепарационное устройство с дугообразными элементами [1]. Конструктивно данное устройство представляет несколько рядов дугообразных элементов, расположенных в шахматном порядке и погруженных в сепарационную решетку, находящуюся снизу устройства (над бункером), на определенную величину, вся данная структура облачена в корпус, имеющий входной и выходной патрубков для поступления запыленного потока и выхода очищенного соответственно. Принцип действия данного устройства основан на том, что запыленный газовый поток, попадая в устройство через входной патрубков, набегает на дугообразные элементы в следствие чего образуется волнообразная структура потока. Отметим, что в данной конструкции радиус дугообразных элементов достаточно мал, следовательно, радиус поворота газа тоже невелик, данные факторы приводят к образованию достаточно высоких значений центробежных сил, осуществляющих отделение частиц от газового потока. Под действием силы тяжести частицы оседают внизу в бункере устройства, а из выходного патрубков выходит очищенный воздух.

В данной работе проводилось математическое исследование в программном комплексе ANSYS Fluent. Была выявлена зависимость диаметра дугообразных элементов на эффективность и гидравлическое сопротивление сепарационного устройства (см рисунок) при различных значениях входной скорости газа. На входе задавалась скорость от 0,5 до 3 м/с, на выходе – атмосферное давление. Необходимо отметить, что конструктивно диаметр различных моделей был равен 20, 30, 40, 50 и 60 мм.



а)



б)

Математические исследования сепарационного устройства: а) зависимость эффективности устройства от диаметра дугообразных элементов при различной скорости газа на входе  $w$ , м/с: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 2; 4 – 3; б) зависимость гидравлического сопротивления устройства от скорости газа при различном диаметре дугообразных элементов  $d$ , мм: 1 – 20; 2 – 30; 3 – 40; 4 – 50; 5 – 60

Исследования показали, что при низких скоростях до 1 м/с, а именно при таких наиболее целесообразно использовать данное устройство, диаметр дугообразных элементов не оказывает существенного изменения на эффективность. Если рассматривать более высокие скорости, от 1 м/с и до 3 м/с, то можно заметить, что увеличение диаметра дугообразных элементов приводит к увеличению эффективности. Наиболее наглядно этот переход выражен при изменении диаметра от 30 до 40 мм и скоростях 2 и 3 м/с. А также гидравлическое сопротивление не превышает 600 Па. Исходя из полученных графиков можно сделать вывод, что наиболее оптимальный диаметр дугообразных элементов для сепарационного устройства в промышленных масштабах составляет 40 мм.

### Источники

1. Очистка газа пылеулавливающим устройством с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев [и др.] // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28, № 2. – С. 12-18. – DOI 10.18412/1816-0395-2024-2-12-18. – EDN IXPTZB.

## **КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ НА ПОВЕРХНОСТИ КОЛЬЦЕВОГО КРУГЛОГО СПИРАЛЬНОГО РЕБРА ПОСТОЯННОЙ ТОЛЩИНЫ**

Бадретдинова Гузель Рамилевна

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Дмитриев Андрей Владимирович

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

nice.badretdinova@mail.ru

В работе рассмотрена конденсация паровоздушной смеси на поверхности спирального ребра. Проведено численное моделирование процесса конденсации паровоздушной смеси на спиральном ребре с помощью CFD-моделирования. Получены коэффициенты теплоотдачи от удельного теплового потока при численном моделировании и экспериментальном исследовании. Установлено, что максимальное отклонение численных и экспериментальных расчетов составляет 16,8%, а минимальное – 2,6%.

**Ключевые слова:** спиральное ребро, конденсация паровоздушной смеси, коэффициент теплоотдачи, удельный тепловой поток.

## **CONDENSATION OF A VAPOR-AIR MIXTURE ON THE SURFACE OF AN ANNULAR CIRCULAR SPIRAL RIB OF CONSTANT THICKNESS**

Badretdinova Guzel R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

nice.badretdinova@mail.ru

The paper considers the condensation of a vapor-air mixture on the surface of a spiral rib. Numerical simulation of the condensation process of a vapor-air mixture on a spiral rib using the Ansys Fluent software package has been carried out. The coefficients of heat transfer from the specific heat flux are obtained by numerical modeling and experimental study. It is established that the maximum deviation of numerical and experimental calculations is 16.8%, and the minimum is 2.6%.

**Keywords:** spiral rib, condensation of a vapor-gas mixture, moisture content, heat transfer coefficient.

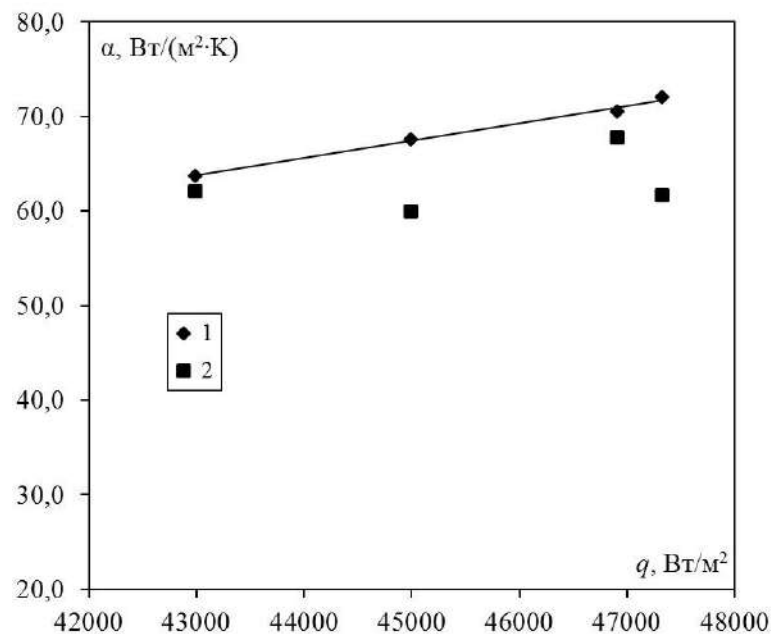
Теплообменники с оребренными трубами широко применяются для рекуперации тепла от паровоздушных смесей в пищевой, химической и нефтегазовой промышленности. Большой интерес к исследованию представляет процесс конденсации паровоздушной смеси на поверхности спиральных ребер труб теплообменников. При эксплуатации теплообменных аппаратов вместе с конденсатом на поверхность оребренных труб осаждаются твердые частицы. Образовавшийся конденсат стекает с поверхности оребренной трубы, а твердые частицы остаются и формируют слои осадков, создающие термическое сопротивление тепловому потоку. Данная проблема активно изучается авторами работ [1, 2], а также другими отечественными и зарубежными исследователями.

В работе [3] было проведено исследование по усилению процесса конденсации влажного воздуха на поверхности оребренной трубы. Авторами получены результаты изменения скрытой и явной теплопередачи при определенных значениях относительной влажности, числа Рейнольдса и различной скорости влажного воздуха. Установлено, что в случае скрытой теплопередачи оребренная труба показывает наилучшие данные по усилению конденсации влажного воздуха. В работе [4] экспериментально исследована конденсация пара с высоким содержанием диоксида углерода на поверхности горизонтальной трубы. В зависимости от массовой доли диоксида углерода авторами получены коэффициенты теплоотдачи при конденсации пара. Установлено, что коэффициент теплоотдачи снижается на 65-72% при повышении содержания диоксида углерода. При концентрации содержания диоксида углерода, равной 89,7% коэффициент теплоотдачи снижается до 99%.

Целью данного исследования является определение коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности спирального ребра, расположенной на трубе теплообменника, при численном моделировании и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

В работе решалась задача обтекания паровоздушной смесью наружной поверхности спирального ребра в программном комплексе Ansys Fluent. На входе в расчетную область была задана массовая доля воды  $x_w = 0,31$  в паровоздушной смеси с температурой 200°C, на выходе – массовый расход  $G = 0,03$ , кг/с, на внутренней стенке трубы удельный тепловой поток задавался равным  $q = 47325,9, 42990,5, 46908,5, 44992,3$  Вт/м<sup>2</sup>. В ходе исследования были получены коэффициенты теплоотдачи при численном моделировании и экспериментальном исследовании от удельного теплового потока на внутренней стенке трубы (см. рисунок).





Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от удельного теплового потока  $q$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К):  
 1 – численный расчет; 2 – экспериментальные данные

Исследования показывают, что результаты численного моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными. Так, например, при заданных удельных тепловых потоках  $q = 47325,9, 42990,5, 46908,5, 44992,3$  Вт/м<sup>2</sup> отличие численного расчета и экспериментальных данных составляет 16,8, 2,6, 4,1, 12,7% соответственно. Максимальное отклонение наблюдается при задании теплового потока, равным 47325,9 Вт/м<sup>2</sup>, минимальное при 42990,5 Вт/м<sup>2</sup>.

### Источники

1. Дмитриев А.В., Якимов Н.Д., Харьков В.В., Бадретдинова Г.Р. Расчет образования осадка на оребренных трубах теплообменника при конденсации парогазовой смеси с твердыми частицами // Инженерно-физический журнал. 2023. Т. 96. № 6. С. 145–1463.

2. Якимов Н.Д., Дмитриев А.В., Бадретдинова Г.Р., Борисова С.Д. Особенности решения задачи о конденсации пара, содержащего твёрдые частицы на ребре // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 3. С. 121–129.

3. Gu Y., Ding Y., Liao Q., Fu Q., Zhu X., Wang H. Analysis of convective condensation heat transfer for moist air on a three-dimensional finned tube // Applied Thermal Engineering. 2021. Т. 195. С. 117211.

4. Ge M., Zhao J., Wang S. Experimental investigation of steam condensation with high concentration CO<sub>2</sub> on a horizontal tube // Applied thermal engineering. 2013. Т. 61. №. 2. С. 334–343.

УДК 536.6

## СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОТЫ

Валюк Анастасия Сергеевна

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. каф. «ТОТ», Попкова Оксана Сергеевна

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

anastasia.valyuk@mail.ru

Теплотехника - важная область науки и техники, применяемая в промышленности, энергетике и научных исследованиях. Измерение теплоты - неотъемлемая часть теплотехники, помогает оптимизировать процессы и экономить ресурсы. В данной статье мы рассмотрим различные способы измерения теплоты, проведем их анализ, выявим их плюсы и минусы, а также сделаем вывод о наиболее предпочтительных способах измерения теплоты.

**Ключевые слова:** теплотехника, измерение теплоты, калориметрия, тепловой поток, электрический метод, механический метод.

## METHODS OF MEASURING HEAT

Valyuk Anastasia S.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

anastasia.valyuk@mail.ru

Thermal engineering is an important field of science and technology used in industry, energy and scientific research. Heat measurement is an integral part of thermal engineering, helps to optimize processes and save resources. In this article, we will look at various ways to measure heat, analyze them, identify their pros and cons, and conclude on the most preferred ways to measure heat.

**Keywords:** heat engineering, heat measurement, calorimetry, heat flow, electrical method, mechanical method.

Измерение теплоты играет важную роль в разных сферах, включая энергетику, промышленность, науку и бытовую технику. Точное и надежное измерение теплоты помогает эффективно управлять передачей тепла,

оптимизировать системы отопления и охлаждения, а также повышать энергоэффективность устройств и процессов.

Калориметрия - это метод измерения теплоты, основанный на изменении температуры вещества при передаче или поглощении теплоты. Для этого используются специальные приборы - калориметры. Калориметры могут быть адиабатическими, изотермическими или дифференциальными [1]. Адиабатические калориметры изолируют систему от потерь тепла и позволяют точно измерить количество переданной или поглощенной теплоты. Изменение температуры в адиабатическом калориметре связано только с изменением внутренней энергии системы. Изотермические калориметры поддерживают постоянную температуру вещества и позволяют определить количество переданной или поглощенной теплоты. Изменение температуры в изотермическом калориметре связано с изменением внутренней энергии системы и количества вещества в реакции. Дифференциальные калориметры используются для измерения разницы в теплоте между двумя состояниями системы и позволяют изучать физические и химические процессы. Измерение теплоты в химических реакциях, отоплении и охлаждении, а также изучение тепловых свойств веществ и реакций - все это возможно благодаря методу калориметрии. Он обладает высокой точностью измерений и позволяет работать с широким диапазоном температур. Калориметрия играет важную роль в оптимизации процессов и разработке новых материалов. Однако, для достижения термодинамического равновесия может потребоваться некоторое время, особенно при измерении больших количеств теплоты. Также, использование калориметрии может быть сложным для веществ с высокой теплопроводностью или при фазовых переходах.

Метод теплового потока - отличный способ контроля теплопотерь и теплоизоляции зданий. Он основан на измерении разности температур между двумя точками и определении теплового потока между ними. Для этого используются тепловые датчики, которые могут быть размещены внутри объекта или на его поверхности [2]. Преимущества метода теплового потока: высокая чувствительность и быстрое время реакции. Контроль и измерение теплопотерь и теплоизоляции зданий. Метод подходит для различных условий и конвективных потоков. Однако, есть ограничения: затруднения при конвективных потоках и неточности из-за неоднородного распределения тепла. Широко используется в инженерии и строительстве для контроля теплопотерь, измерения эффективности теплоизоляционных материалов и оценки энергетической эффективности зданий.

Измерение теплоты с помощью электрического метода - это точный способ определения изменения сопротивления или электрической мощности при передаче тепла через проводник. Один из простейших способов применения электрического метода - это измерение изменения сопротивления проводника при его нагреве. Сопротивление проводника зависит от его температуры, поэтому изменение сопротивления может быть использовано для определения количества теплоты, переданной через проводник. Для этого используются специальные терморезисторы или термопары, которые обладают изменяющимся сопротивлением в зависимости от температуры. Этот метод обладает высокой точностью и может быть использован для измерения теплоты при различных температурах. Он также позволяет получать данные в режиме реального времени и обладает высокой чувствительностью. Однако для его применения требуется специальное оборудование, и он может быть сложным в использовании для некоторых материалов [3].

Измерение теплоты с помощью механического метода основано на определении изменения объема или давления вещества при его нагревании или охлаждении. Этот метод отличается простотой использования и высокой чувствительностью. Он может быть применен для измерения теплоты в различных условиях, включая высокие давления и температуры. Однако для его использования требуется специальное оборудование, и он может быть сложным в применении для некоторых веществ.

Различные способы измерения теплоты имеют свои преимущества и ограничения. Выбор метода зависит от задачи и условий эксперимента. Калориметрия - распространенный метод с высокой точностью, но требующий времени для достижения равновесия. Метод теплового потока - применяется в инженерии и строительстве, чувствителен и быстро реагирует. Электрический и механический методы также имеют свои преимущества и могут быть применены в разных условиях.

### **Источники**

1. Егунов В. П. и др. Термический анализ и калориметрия //x Международное курнаковское совещание по физико-химическому анализу. – 2013. – С. 103.
2. Грищенко Т. Г. и др. Теплометрия: теория, метрология, практика. Книга 1. Методы и средства измерения теплового потока. – 2017.

3. Попкова О.С., Попов Ю.И., Логинов В.Н., Круглов В.И., Халитов Ф.Г. Термодинамика и теплообмен. Учебное пособие. Казань: КГЭУ, 272 с, 2010.

УДК 621.12

## **ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ДЛЯ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

Галиулина Алина Радиевна

Науч. рук. канд. тех. наук, доц, Попкова Оксана Сергеевна  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
galiulinaa8@gmail.com

В статье проанализированы недостатки широко распространенных разомкнутых систем охлаждения судовых энергетических установок, и рассмотрен вопрос замены такой системы охлаждения на замкнутые. Обоснован выбор более эффективного теплообменного аппарата.

**Ключевые слова:** судовые энергетические установки, система охлаждения, теплообменный аппарат, замкнутая система охлаждения, разомкнутая система охлаждения.

## **CHOOSING AN EFFICIENT HEAT EXCHANGER FOR A MARINE POWER PLANT**

Galiulina Alina R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
galiulinaa8@gmail.com

The article analyzes the disadvantages of widespread open-circuit cooling systems for marine power plants and considers the issue of replacing such a cooling system with closed ones. The choice of a more efficient heat exchanger is justified.

**Keywords:** marine power plants, cooling system, heat exchanger, closed cooling system, open cooling system.

В настоящее время выбор теплообменного аппарата для энергетической установки (СЭУ) судов достаточно широк.

Наиболее распространенные системы охлаждения – это разомкнутые двухконтурные системы, которые используют забортную воду. Однако у такой системы есть свои недостатки:

1. Возможность засорения дизельного пространства взвешенными частицами из морской воды.

2. Интенсивное отложение солей в зарубашечном пространстве приводит к образованию накипи, которая плохо проводит тепло и ухудшает теплообмен. Это может вызвать перегрев и разрушение деталей.

3. Сложности обслуживания из-за ограниченного доступа, суровых морских условий, которые приводят к коррозии, высоким уровням вибрации, сложных систем трубопроводов, а также необходимости специального оборудования и опыта обслуживания в море [1].

Один из способов решения данных проблем – переход на замкнутые системы охлаждения, где не используется забортная вода. Это имеет свои плюсы: технические, экономические и экологические. Техническое преимущество: более простая, без необходимости использования насоса забортной воды и фильтра для её очистки, дополнительных трубопроводов и клапанов, и надежная система охлаждения без загрязненной воды, вызывающей коррозию и износ.

Экономически это позволяет снизить затраты на материалы, например, коррозионностойкие материалы, и энергию, которая необходима для привода насоса забортной воды.

Экологически это безопасно для окружающей среды, особенно для судов, работающих на мелководьях, где много рыбы и других живых организмов [2, 3].

Также это обеспечит экономию капитальных вложений при постройке судна и монтаже элементов систем охлаждения и сокращение эксплуатационных затрат.

Теплообменники в закрытых системах охлаждения можно разделить на две группы: забортные и обшивочные.

Основные достоинства забортных теплообменных аппаратов (ТА): простая конструкция, высокий коэффициент теплопередачи, возможность установки при модернизации судна и переходе на ЗСО. Однако, такие ТА имеют и недостатки: легко повреждаются и подвержены коррозии, что требует использования дополнительной защиты от коррозии и обрастания.

Обшивочные ТА подразделяют на струйные и лабиринтные. Основным недостатком обшивочных лабиринтных – сложность изготовления. Использование таких ТА следует предусматривать на стадии проектирования судна. Более перспективными для строящихся и модернизируемых судов

являются струйные. При проектировании обшивочных струйных ТА необходимо решить задачу по размещению цистерны вдоль бортов или днища судна, определить количество коллекторов и геометрических размеров сопловых отверстий. Решение этих задач требует учета комплекса факторов, включая количество элементов СЭУ, мощность, назначение и размеры судна, районы эксплуатации и среднюю температуру забортной воды. Что требует сочетания численного моделирования и экспериментальных исследований, подготовка к которым ведется в настоящее время.

Таким образом, использование замкнутого теплообменного аппарата обеспечивает более эффективное отведение тепла, чем простой сброс воды в цистерну без организации ее течения вдоль обшивки. Этот метод рекомендуется для применения на судах, так как позволит повысить эффективность работы существующих систем охлаждения.

В конечном итоге, выбор метода отвода теплоты через судовую обшивку зависит от конкретных конструктивных особенностей проектируемого судна.

### **Источники**

1. Тихонов, Н. Ф. Повышение эффективности судовых энергетических установок / Н. Ф. Тихонов, В. А. Гартфельдер, Е. Г. Шумихина // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 38. – С. 515-519. – EDN VEIJFY.

2. Федоровский, К. Ю. Механизм отрицательного антропогенного воздействия систем охлаждения СЭУ / К. Ю. Федоровский, Н. К. Федоровская, В. В. Ениватов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 6. – С. 1068-1077. – DOI 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1068-1077. – EDN UZNMHI.

3. Федоровская, Н. К. Оценка эффективности систем охлаждения судовых энергетических установок с учетом экологического фактора / Н. К. Федоровская, К. Ю. Федоровский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. - 2021. - №4 (68). - С. 559-568.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО РАЗМЕРА УНОСИМЫХ ЧАСТИЦ В РЕАКТОРЕ С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

Гильмутдинова Резеда Исхаковна<sup>1</sup>, Нгуен Ву Линь<sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. тех. наук Зинуров Вадим Эдуардович  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан,  
<sup>2</sup> Hanoi University of Industry, Vietnam  
<sup>1</sup>gilmutdinovarz@gmail.com, <sup>2</sup>linh\_nv@hau.edu.vn

В статье рассмотрена проблема уноса частиц катализатора в реакторе с псевдоожигенным слоем. В результате исследования получены скорости псевдоожигения и размер частиц плотностью 7000 кг/м<sup>3</sup>, при которых они уносятся из реактора. При скорости начала псевдоожигения от 0,00026 до 0,55 м/с, скорость уноса частиц катализатора составляет от 0,02 до 8,9 м/с.

**Ключевые слова:** псевдоожигение, сепарационное устройство, скорость уноса частиц из реактора, псевдоожигенный слой.

## DETERMINATION OF THE CRITICAL PARTICLE ENTRAINMENT SIZE IN A FLUIDIZED BED REACTOR

Gilmutdinova Rezeda I.<sup>1</sup>, Nguyen Vu Linh<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan,  
<sup>2</sup> Hanoi University of Industry, Vietnam  
<sup>1</sup>gilmutdinovarz@gmail.com, <sup>2</sup>linh\_nv@hau.edu.vn

The article considers the problem of entrainment of catalyst particles in a reactor with a fluidized bed. As a result of the study, fluidization rates and particle size with a density of 7000 kg/m<sup>3</sup> were obtained, at which they are carried away from the reactor. At the rate of fluidization initiation from 0.00026 to 0.55 m/s, the rate of entrainment of catalyst particles ranges from 0.02 to 8.9 m/s.

**Keywords:** fluidization, separation device, particle entrainment rate from the reactor, fluidized bed.

На данный момент технологии псевдоожигения используется в разных отраслях промышленности. В большинстве случаев реактора с псевдоожигенным слоем применяются в химической и нефтехимической отраслях промышленности [1].



Рассмотрим процесс, при котором возможен унос частиц из реактора. При увеличении скорости потока происходит фильтрование, при котором частицы остаются в подвешанном состоянии, при дальнейшем увеличении скорости, частицы переходят в слой, называемый псевдооживленным, в этом состоянии частицы способны перемещаться свободно. При дальнейшем возрастании скорости частицы двигаются более интенсивно, частицы все еще поддерживаются на весу, далее, при определенных значениях, наблюдается унос частиц из реактора.

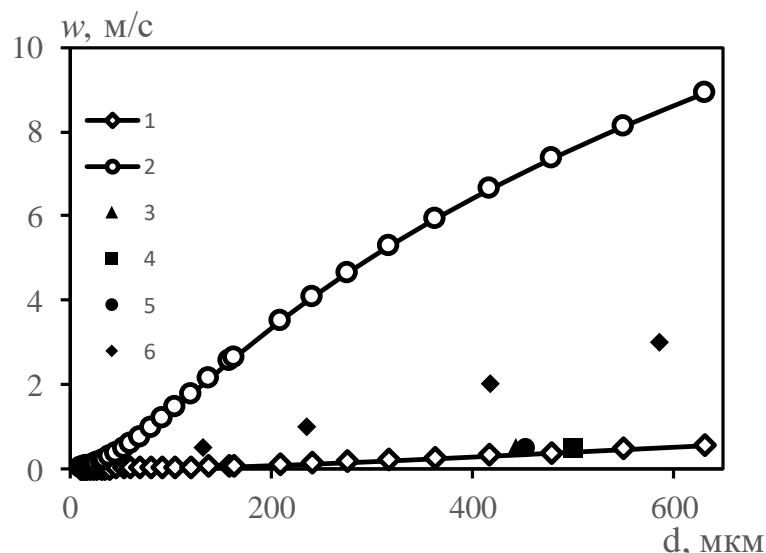
В данной работе рассматривается сепарационное устройство с дугообразными элементами, которое служит альтернативной заменой циклонам в реакторах с псевдооживленным слоем [2]. Из-за своих преимуществ сепаратор является наиболее эффективным устройством для улавливания частиц катализатора [3]. В частности, из-за конструктивных особенностей расположения сепарационных устройств в реакторе достигается невысокая входная скорость газа с частицами катализатора, что способствует уменьшению абразивного износа их стенок. При низкой скорости движения запыленной среды достигается небольшое гидравлическое сопротивление.

Целью данной работы является определение размера частиц, при котором они уносятся из реактора с псевдооживленным слоем.

Формула для расчета скорости уноса частиц из реактора имеет вид:

$$w = \frac{Re\mu}{\rho d}, \quad (1)$$

где  $w$  - скорость уноса, м/с,  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>,  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости среды, Па·с,  $Re$  - число Рейнольдса,  $d$  – размер частиц, м. С помощью расчетов скорости начала псевдооживления и скоростей уноса частиц можно найти критический размер частиц.



Зависимость скорости газа от размера частиц при плотности частиц  $7000 \text{ кг/м}^3$ : 1 – скорость начала псевдоожижения, 2 – скорость уноса, 3 – скорость псевдоожижения по Кнудсену), 4 – скорость псевдоожижения (по Энглеру), 5 – скорость псевдоожижения (по Рибьеру), 6 – скорость псевдоожижения (по Таскинэру)

На основе разных методик расчета скорости псевдоожижения построен график зависимости скорости газа от размера частиц при плотности частиц  $7000 \text{ кг/м}^3$  (см. рисунок). При этом скорость частиц рассчитывалась по формулам Кнудсена, Энглера, Рибьера, Таскинэра. На основе расчетов, выявлено, что с помощью разных методик подсчета скорости псевдоожижения можно получить диапазон, в котором находятся частицы в псевдоожиженном состоянии. На графике видно, что псевдоожижение происходит в диапазоне между полученными кривыми, соответствующими началу псевдоожижения и уносу частиц катализатора. Из графика следует, что при скорости начала псевдоожижения от  $0,00026$  до  $0,55 \text{ м/с}$ , скорость уноса частиц катализатора составляет от  $0,02$  до  $8,9 \text{ м/с}$ . Далее из уравнения неразрывности, учитывая скорость входа частиц в реактор, можно получить критические размеры частиц.

Можно сделать вывод о том, что для рабочих скоростей получились критические размеры, при которых частицы уносятся из рабочей зоны реактора. Знание данного параметра позволяет оптимизировать процессы перемещения частиц и обеспечить их равномерное распределение в реакторе.

#### Источники

1. J. Wang, Y. Shao, X. Yan, J. Zhu, Chemical Engineering Journal, 386, 121951, (2020).

2. Пылеулавливающее устройство для блоков дегидрирования парафиновых углеводородов с кипящим слоем катализатора / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Катализ в промышленности. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 57-64. – DOI 10.18412/1816-0387-2022-2-57-64.

3. Салахова, Э. И. Определение критического диаметра уноса частиц в реакторе с псевдоожиженным слоем / Э. И. Салахова, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, Р. И. Гильмутдинова // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 12. – С. 139-143. – DOI 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_12\_139.

УДК 658.26

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВ ТОПЛИВА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ**

Жалмаганбетова Севара Тугеловна<sup>1</sup>, Жексенбекова Анель Данияровна<sup>2</sup>

Науч. рук. к.т.н. доцент Попкова Оксана Сергеевна

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>sevajt859@gmail.com, <sup>2</sup>nno06196@gmail.com

В данной статье рассмотрены такие виды топлива, используемые в газотурбинных установках, как сжиженный газ, мазут и природный газ. Проведен сравнительный анализ и дана экономическая оценка. Выделены преимущества и недостатки каждого из выбранных видов топлива.

**Ключевые слова:** топливо, газотурбинные установки, природный газ, сжиженный газ, мазут, энергоресурсы, производственное сырье.

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF FUEL TYPES USED IN GAS TURBINE PLANTS**

Jalmaganbetova Sevara T.<sup>1</sup>, Zhexenbekova Anel D.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>sevajt859@gmail.com, <sup>2</sup>nno06196@gmail.com

This article discusses such types of fuel used in gas turbine units as liquefied gas, fuel oil and natural gas. A comparative analysis was carried out and an economic assessment was given. The advantages and disadvantages of each of the selected types of fuel are highlighted.

**Keywords:** fuel, gas turbine units, natural gas, liquefied gas, fuel oil, energy resources, industrial raw materials.

Газотурбинная установка представляет собой энергетическую установку, которая преобразует энергию сгорания топлива в механическую работу. Она может работать на жидком и газообразном топливе. При работе ГТУ используют различные виды топлива. На выбор топлива влияет множество факторов, таких как удобство эксплуатации, стоимость, доступность, экологический требования, эффективность и другие. Ниже рассмотрены некоторые виды топлив [1].

Мазут — это тяжелое нефтяное топливо, которое часто используется в промышленности и для отопления. Его преимущества включают низкую стоимость и высокую теплотворную способность. Однако у мазута также есть недостатки, такие как высокая вязкость, высокое содержание серы и более низкая температура воспламенения по сравнению с другими видами топлива. Кроме того, сжигание мазута может приводить к высоким выбросам загрязняющих веществ. Мазут используется в промышленности, для отопления и в морском транспорте как топливо для крупных энергетических установок, отопления домов в холодных регионах и для больших судов и танкеров [2].

В августе 2023 года стоимость мазута стала 33600 рублей за тонну. С 28 июля цены на дизель продолжают расти, увеличившись почти на 8% за это время. Цена на мазут также непрерывно увеличивается, удвоившись с конца июня 2023 года.

Природный газ считается более экологически чистым топливом по сравнению с углем или нефтью, так как при его сжигании выделяется меньшее количество углекислого газа. Однако одним из основных недостатков природного газа является его воспламеняемость, что может быть опасным при неконтролируемых утечках. Природный газ имеет широкий спектр применения. Он используется для производства электроэнергии, отопления зданий и промышленных объектов, а также как сырье для производства различных химических продуктов, таких как удобрения, пластмассы, синтетические материалы и другие продукты.

С 1 января цена розничной продажи природного газа для населения Республики Татарстан составляет 9,0174 рубля за тонну (с учетом НДС) [3].

Сжиженный газ — это газ, который был переведен в жидкое состояние путем сжатия и охлаждения. Одним из основных преимуществ сжиженного газа является его удобство хранения, транспортировки и

использования в качестве источника энергии. Некоторые из недостатков сжиженного газа включают в себя воспламенение при контакте с теплом или огнем, а также потенциальные риски для здоровья при неправильном использовании. Сжиженный газ имеет широкий спектр применения, включая использование в качестве топлива для автомобилей, отопления, кулинарии, а также в промышленности и сельском хозяйстве. В ноябре 2023 года цены на сжиженный газ на оптовом рынке России достигли 33,7 тыс. рублей за тонну в Уральском и Сибирском регионах. В феврале 2023 года стоимость сжиженного газа снизилась до 5 тыс. рублей за тонну, что стало минимумом за последние два года. Напротив, в августе 2021 года был зафиксирован абсолютный рекорд цены на уровне 48 тыс. рублей [4].

На основании вышеизложенных фактов можно сделать вывод, что самым распространённым топливом для газотурбинных установок является природный газ. Россия занимает второе место в мире по добыче природного газа, что делает его одним из самых доступных и экономически выгодных видов топлива. Также он удобен в транспортировке и в эксплуатации [5].

#### **Источники**

1. Аброськин, С. Я. Сравнительная характеристика парогазовой установки с газотурбинной установкой / С. Я. Аброськин, Н. П. Василенко, Е. В. Никитин // Проблемы и перспективы современной науки. – 2016. – № 11. – С. 133-136. – EDN WCDJNZ.

2. Стоимость летнего дизтоплива впервые превысила Р60 тыс. за тонну URL: <https://www.rbc.ru/business/07/08/2023/64d0e40e9a79477be53fa10f> (дата обращения: 06.03.2024)

3. ГАЗОВАЯ ОТРАСЛЬ URL: <https://kt.tatarstan.ru/gazovaya-otrasl-2659817.htm#3>. \_Где (дата обращения: 06.03.2024)

4. Цены на сжиженный газ в России взлетели до максимума за два года URL: <https://www.gazeta.ru/business/news/2023/11/27/21795949.shtml> (дата обращения: 06.03.2024)

5. Стырикович, М. А. Природный газ в централизованном электро- и теплоснабжении / М. А. Стырикович // Теплоэнергетика. – 1994. – № 5. – С. 50-57. – EDN ZZPNRB.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИИ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ НА ОРЕБРЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Бадретдинова Гузель Рамилевна<sup>1</sup>, Зинуров Вадим Эдуардович<sup>2</sup>,  
Якупов Тимур Ренатович<sup>3</sup>

д-р. тех. наук, доц. Дмитриев Андрей Владимирович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>nice.badretdinova@mail.ru, <sup>2</sup>vadd\_93@mail.ru, <sup>3</sup>dukchiken3@gmail.com

В статье представлено исследование численного моделирования процесса конденсации двухфазной смеси на оребренной поверхности теплообменного аппарата. Для этого была разработана упрощенная трехмерная расчетная модель, основанная на экспериментальных данных. Получена картина конденсации двухфазной смеси на оребренной поверхности.

**Ключевые слова:** конденсация, двухфазная среда, оребренная поверхность, теплообменная поверхность, численное моделирование.

## NUMERICAL SIMULATION OF CONDENSATION OF A TWO-PHASE MIXTURE ON THE FINNED SURFACE OF A HEAT EXCHANGER

Badretdinova Guzel R.<sup>1</sup>, Zinurov Vadim E.<sup>2</sup>, Yakupov Timur R.<sup>3</sup>  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>nice.badretdinova@mail.ru, <sup>2</sup>vadd\_93@mail.ru, <sup>3</sup>dukchiken3@gmail.com

The article presents a study of numerical simulation of the condensation process of a two-phase mixture on the finned surface of a heat exchanger. For this purpose, a simplified three-dimensional computational model based on experimental data was developed. A condensation pattern of a two-phase mixture on a finned surface is obtained.

**Keywords:** condensation, two-phase medium, finned surface, heat exchange surface, numerical simulation.

Конденсация двухфазной смеси на оребренной поверхности теплообменного аппарата является важным процессом во многих промышленных и технических приложениях. Ввиду этого целью данной работы является численное моделирование конденсации двухфазной среды на оребренной поверхности [1].

Для моделирования процесса конденсации была разработана трехмерная расчетная модель (рис. 1), основанная на методе конечных объемов. Модель учитывает влияние плотности теплового потока, скорости движения смеси и массовой доли воды на коэффициент теплоотдачи. Трехмерная модель была создана на основе экспериментальных данных [2].

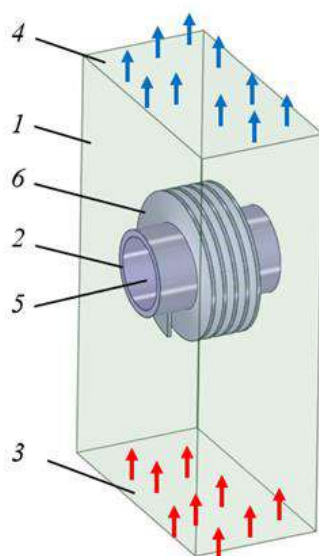


Рис. 1. Расчетная модель оребренной трубы теплообменного аппарата в воздуховоде: 1 – воздуховод; 2 – труба; 3, 4 – вход и выход в модель соответственно; 5 – внутренняя стенка трубы; 6 – оребренная поверхность

В ходе численного моделирования получена визуализация конденсации двухфазной смеси на оребренной поверхности трубы (рис. 2). Видно, что физика процесса соответствует моделируемому процессу в реальном масштабе. При непосредственном контакте двухфазной смеси с поверхностью оребренной трубы смесь начинает передавать ей тепло. Следствием охлаждения двухфазной среды является ее конденсация. Далее на оребренной поверхности трубы возникает тонкий слой жидкости. Постепенно массовая доля воды на ее поверхности повышается, что приводит к росту теплоотдачи. Вследствие геометрического расположения оребренной трубы в воздуховоде (оребренная труба вставлена в воздуховод перпендикулярно направлению движения двухфазной смеси) и направления движения двухфазной смеси, конденсирующаяся двухфазная среда постепенно стекает по поверхности оребренной трубы и сконденсированная вода падает с нее вниз, рассеиваясь в воздуховоде (рис. 2).

В докладе представлены зависимости коэффициента теплоотдачи от двухфазной среды к оребренной поверхности при ее конденсации на ней в зависимости от начальной массовой доли воды в движущейся среде.

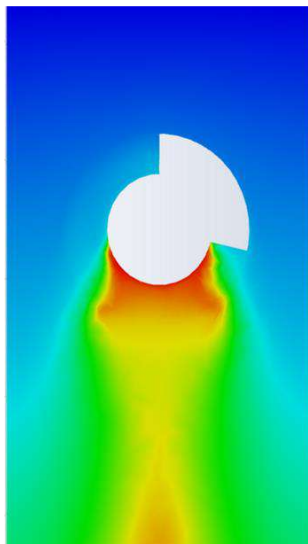


Рис. 2. Картина конденсации двухфазной смеси на оребренной поверхности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20061.

### Источники

1. Экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, И. И. Шарипов, А. Р. Галимова // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2021. – Т. 7, № 2(26). – С. 60-74.

2. Исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность / В. Э. Зинуров, А. Р. Галимова, Г. Р. Бадретдинова, И. В. Санников // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXI Бенардосовские чтения) : материалы Международной научно-технической конференции, Иваново, 02–04 июня 2021 года. Том II. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2021. – С. 241-243.



## СЕПАРАЦИОННОЕ МУЛЬТИВИХРЕВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Прец Мария Арнольдовна<sup>1</sup>, Хабибуллин Булат Рустамович<sup>2</sup>,  
Зиангиров Айдар Фаилевич<sup>3</sup>

канд. тех. наук, доц. Шинкевич Татьяна Олеговна

<sup>1, 2, 3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>precmar@gmail.com, <sup>2</sup>khabibcom@mail.ru, <sup>3</sup>zinaydar@mail.ru

В статье представлена проблема по очистке запыленных сред от мелкодисперсных твердых частиц. Предложено новое сепарационное мультिवихревое устройство. Проведены численные исследования. Показано, что сеточная независимость достигается при размере ячеек 2 мм. Фракционная эффективность сепаратора составляет до 74,8 %.

**Ключевые слова:** сепарационное устройство, запыленная среда, сеточная независимость, циклонный сепаратор.

## SEPARATION MULTI VORTEX DEVICE FOR CAPTURING FINE PARTICULATE MATTER

Prets Mariia A.<sup>1</sup>, Khabibullin Bulat R.<sup>2</sup>, Ziangirov Aydar F.<sup>3</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>precmar@gmail.com, <sup>2</sup>khabibcom@mail.ru, <sup>3</sup>zinaydar@mail.ru

The article presents the problem of cleaning dusty media from fine particulate matter. A new multi-vortex separation device has been proposed. Numerical studies have been carried out. It is shown that grid independence is achieved with a cell size of 2 mm. The fractional efficiency of the separator is up to 74.8%.

**Keywords:** separation device, dusty environment, grid independence, cyclone separator.

На многих промышленных объектах актуальной задачей является повышение эффективности улавливания мелкодисперсных твердых частиц из запыленных сред. При этом аппарат, который будет использован для решения данной задачи, должен обладать минимальным гидравлическим сопротивлением. Одним из наиболее распространенных аппаратов

является циклонный сепаратор. Однако, ключевым его недостатком являются высокие потери давления [1].

Для решения проблемы авторами статьи предлагается интегрировать в технологический процесс новое сепарационное мультивихревое устройство (рис. 1) [2, 3]. Основными элементами аппарата являются несколько соосно расположенных труб 1, 2 и 7, наклонные пластины 8, перегородка 3 и бункер 6.

Целью работы является численное моделирование процесса улавливания мелких частиц из запыленной среды в предлагаемом устройстве.

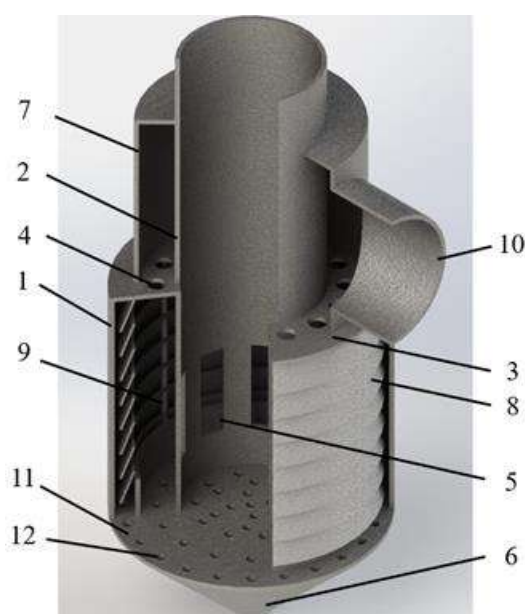


Рис. 1. Цифровая модель мультивихревого устройства для улавливания частиц: 1 – первая наружная труба; 2 – внутренняя труба; 3 – перегородка; 4 – отверстия; 5 – прорезы; 6 – бункер; 7 – вторая наружная труба; 8 – наклонные пластины; 9 – шпильки; 10 – выходное отверстие; 11 – дно сепаратора; 12 – круглые отверстия (вид с разрезом)

При численном моделировании была выполнено исследование по сеточной независимости. В докладе показано, что для снижения требований к вычислительным мощностям и времени на расчеты, их можно выполнять при размере сеточных элементов равным 2 мм с дополнительным сгущением в областях со сложной геометрией.

Фракционная эффективность сепаратора составляет от 0 до 74,8 % при размере частиц от 1 до 15 мкм и входной скорости газа 3-10 м/с. Нулевая фракционная эффективность сепаратора соответствует различным диапазонам частиц в зависимости от входной скорости газа.

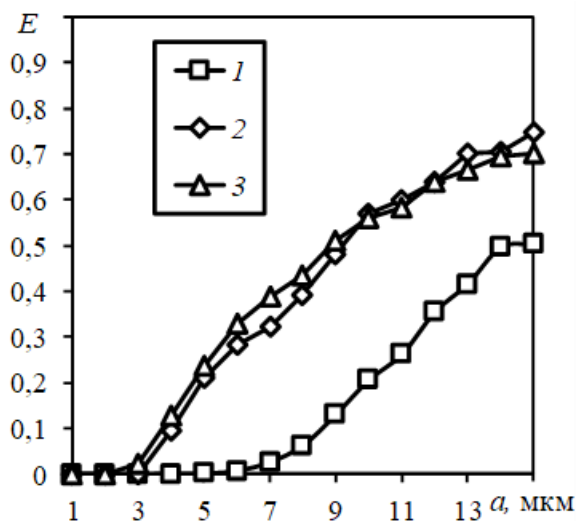


Рис. 2. Зависимость фракционной эффективности статического центробежного мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами от размера частиц при различной входной скорости газа  $W$ , м/с: 1 – 3; 2 – 7; 3 – 10. Количество наклонных пластин  $k = 8$

При ее значениях 3, 7 и 10 м/с она соответствует диапазонам до 7, 3 и 3 мкм соответственно. В среднем фракционная эффективность сепаратора для диапазона частиц от 1 до 15 мкм равна 16,4, 38,3 и 39,3 % при входной скорости 3, 7 и 10 м/с соответственно (рис. 2).

### Источники

1. 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.

2. Оценка энергетических затрат при улавливании мелкодисперсных частиц в сепараторе с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, Г. Р. Бадретдинова [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25, № 2(157). – С. 196-206.

3. Сепарационное устройство с соосно расположенными трубами для разделения водонефтяных эмульсий / А. Р. Галимова, В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, В. В. Харьков // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24, № 3. – С. 50-54.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕПАРАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Мугинов Арслан Маратович<sup>1</sup>, Шаймарданов Ансель Ренатович<sup>2</sup>

Науч. рук. асп. каф. АТПП Уткин Максим Олегович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
aqwewerr@gmail.com<sup>1</sup>, ansel.shaymardanov@gmail.com<sup>2</sup>

В статье рассмотрена проблема очистки природного газа от примесей. Для решения проблемы разработана сепарационная колонна. В работе представлена экспериментальная установка по исследованию данного устройства. Отражена методика проведения эксперимента, позволяющая определить эффективность сепарационной колонны.

**Ключевые слова:** сепарационная колонна, природный газ, мелкодисперсные капли, сепарация, сепаратор.

## EXPERIMENTAL SETUP FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF THE SEPARATION COLUMN

Muginov Arslan M.<sup>1</sup>, Shaimardanov Ansel R.<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
aqwewerr@gmail.com<sup>1</sup>, ansel.shaymardanov@gmail.com<sup>2</sup>

The article considers the problem of purification of natural gas from impurities. A separation column has been developed to solve the problem. The paper presents an experimental setup for the study of this device. The method of conducting the experiment is reflected, which makes it possible to determine the efficiency of the separation column.

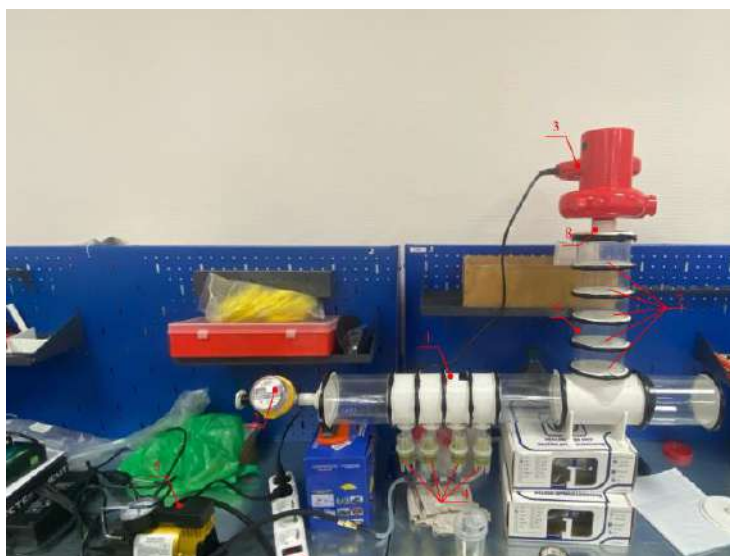
**Keywords:** separation column, natural gas, fine droplets, separation, separator.

На сегодняшний день на автономных контрольных пунктах для полноценного энергоснабжения при высоком постоянном потреблении электроэнергии применяются генераторы, использующие в качестве топлива углеводороды, например, двигатель Стирлинга. Газ для питания генератора отбирается из магистральных газопроводов, проходит через фильтр-сепаратор и блок подготовки, где осуществляется его редуцирование. Надежность и долговечность работы как редукторов давления, так и генератора зависит от чистоты подаваемого газа, то есть от

эффективности функционирования фильтр-сепаратора. Однако на данный момент такие фильтры имеют недостаточную эффективность, что приводит к преждевременному выходу из строя редукторов давления, поэтому вопрос о повышении эффективности работы фильтр-сепараторов остается актуальным [1].

В данной работе представлена экспериментальная установка (см. рисунок). Она состоит из линии подачи аэрозоля 1, расходомера 2, вентилятора 3, четырех параллельно подключенных камер небулайзера 4, компрессора 5, сепарационной колонны 6, которая состоит из нескольких секций прозрачной трубы, сепарационных дисков 7 и выходного фланца с матерчатыми фильтрами 8.

Экспериментальная установка предназначена для определения эффективности работы сепарационной колонны, которая необходима для улавливания мелкодисперсных капель из газа. Для создания тяги в проточной зоне применяется вентилятор 3, подача мелкодисперсной жидкости в установку осуществляется посредством нескольких камер небулайзера 4 объемом 8 мл, обеспечивающих тонкость диспергирования примерно 3,16 мкм, и компрессора TORNADO AC-580 с мощностью 120 Вт.



Экспериментальная установка для определения эффективности сепарационной колонны

На данный момент предметом исследования является эффективность улавливания частиц сепарационной колонной, которая вычисляется по формуле:

$$E = \frac{M_1}{M_2}, \quad (1)$$

где  $M_1$  – масса жидкости, уловленной сепарационной колонной, кг;  $M_2$  – масса жидкости, подмешанной в поток воздуха, кг.  $M_1$  находится по формуле:

$$M_1 = \sum_{i=1}^n m_i, \quad (2)$$

где  $m_i$  – масса жидкости, оставшейся на  $i$ -ой сепарационной пластине, кг;  $n$  – количество сепарационных пластин. Масса жидкости  $m_i$  находится по формуле:

$$m_i = m_{\text{ПЛ}}^{\text{после}} - m_{\text{ПЛ}}^{\text{до}} \quad (3)$$

где  $m_{\text{ПЛ}}^{\text{до}}$ ,  $m_{\text{ПЛ}}^{\text{после}}$  – масса конкретной сепарационной пластины до и после испытания соответственно, кг.  $M_2$  находится по формуле:

$$M_2 = m_{\text{СТ}}^{\text{до}} - m_{\text{СТ}}^{\text{после}}, \quad (4)$$

где  $m_{\text{СТ}}^{\text{до}}$ ,  $m_{\text{СТ}}^{\text{после}}$  – масса мерного стакана с жидкостью до испытания и масса мерного стакана с остатками жидкости после испытания соответственно, кг.

Таким образом, создана испытательная установка и выработана методика определения эффективности работы сепарационной колонны.

### 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.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА РАСКРЫТИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОТОЧЕК НА РАБОТУ МУЛЬТИВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА**

Мугинов Арслан Маратович  
канд. тех. наук Зинуров Вадим Эдуардович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
aqwewerr@gmail.com

В статье приведены результаты математического моделирования газодинамических процессов в 3D-моделях мультिवихревого классификатора с изменённым углом раскрытия вертикальных проточек.

**Ключевые слова:** моделирование, фракционирование, мультिवихревой классификатор, модель, мелкодисперсные частицы.

## **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CHANGING THE ANGLE OF OPENING OF VERTICAL DUCTS ON THE OPERATION OF A MULTI-VORTEX CLASSIFIER**

Muginov Arslan M.  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
aqwewerr@gmail.com

The article presents the results of mathematical modeling of gas dynamic processes in 3D-models of a multi-vortex classifier with a modified angle of opening of vertical ducts.

**Keywords:** modeling, fractionation, multi-vortex classifier, model, fine particles.

Из статей [1-2] можно увидеть, что на данный момент проблема классификации мелкодисперсных частиц актуальна. Аппарат, представленный в работе [3], необходим для выведения фракции мелкодисперсных частиц силикагеля до 40 мкм. Однако проблема повышения селективности фракции остаётся актуальной.

В данной исследовательской работе изучается устройство [4] с внесёнными изменениями в конструкцию. Внутри устройства находится труба с вертикальными продольными проточками, которые вызывают образование вихрей при прохождении через них потока газа. Устройство осуществляет классификацию благодаря этим вихрям. Мелкодисперсные

частицы, входя в вихрь, подвергаются воздействию центробежной силы, которая выбрасывает их, если они слишком крупные. Более мелкие частицы поднимаются в вихрях в пространстве между внешней и внутренней трубами.

Один из главных факторов, влияющих на вихреобразование – это форма проточек во внутреннем патрубке. В данной статье исследуется влияние изменения угла раскрытия проточки  $\alpha$  (см. рисунок 1). Угол  $\alpha$  определяет количество и размеры отверстий в круговой пластине, продольных вертикальных проточек внутреннего патрубка.

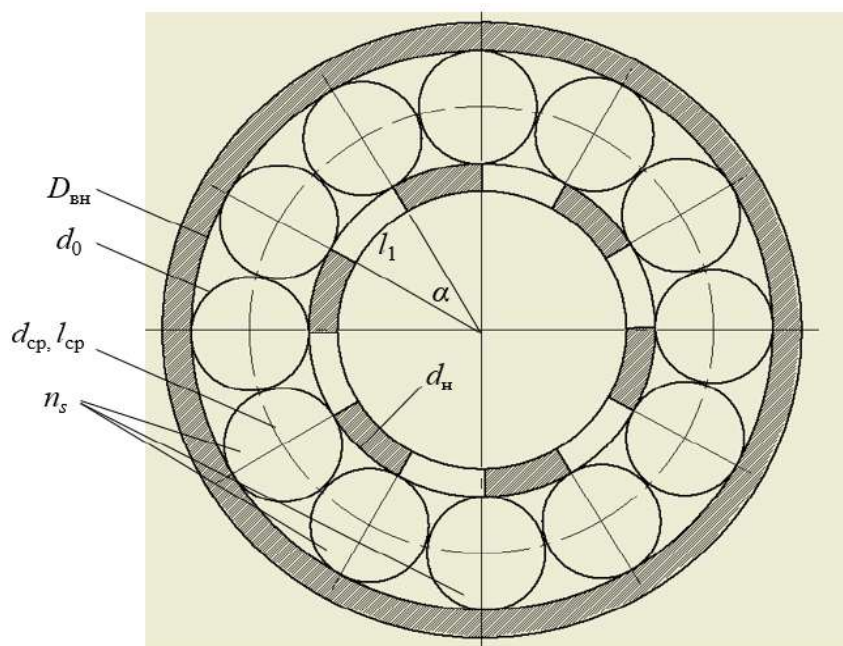


Рис. 1. Сечение мультивихревого классификатора

Рассмотрена конструкция, где угол  $\alpha$  составил 0,6 от исходного значения. При таком значении  $\alpha$  количество отверстий в круговой пластине составило 34, а их диаметр – 2,4 мм, количество продольных вертикальных проточек стало 17.

Для проверки эффективности работы мультивихревого классификатора было проведено математическое моделирование с использованием программного обеспечения Ansys. Моделировался процесс подачи смеси воздуха и сыпучего материала на основе силикагеля при различных скоростях воздушного потока: 8, 12, 16 м/с. Диапазон дисперсности силикагеля варьировался от 5 до 100 мкм с шагом 5 мкм. В результате был построен график зависимости эффективности улавливания частиц  $E$  от их дисперсности  $a$  (см. рисунок 2).



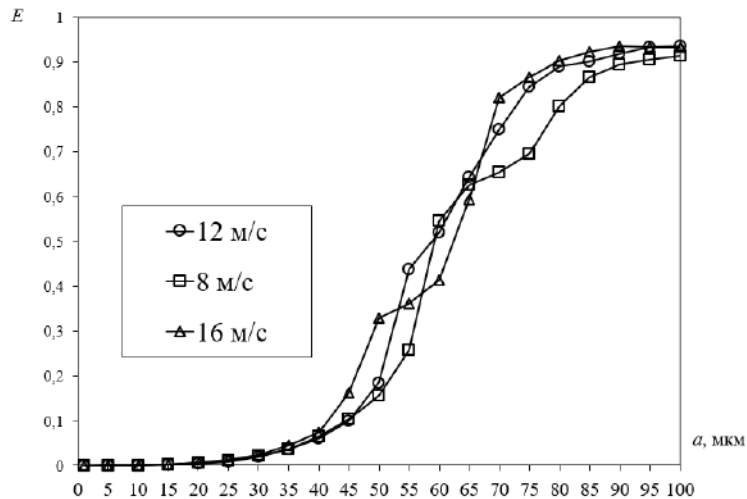


Рис. 2. График зависимости эффективности улавливания частиц  $E$  от их дисперсности  $a$ .

Можно заключить, что данная конструкция позволяет сгруппировать графики для различных скоростей, однако на графике видно появление двух скачков эффективности улавливания частиц, что приводит к значительному увеличению концентрации примесей крупнодисперсных частиц.

### 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. Технико-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.
4. 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 66.074

## ОЧИСТКА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ УГОЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ ОТ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ

Прец Мария Арнольдовна<sup>1</sup>, Нгуен Ву Линь<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Дмитриев Андрей Владимирович

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

<sup>2</sup>Hanoi University of Industry, Вьетнам

<sup>1</sup>precsmari@gmail.com, <sup>2</sup>linh\_nv@hau.edu.vn

В работе рассмотрена проблема очистки газовых выбросов дымовых труб от твердых мелкодисперсных частиц. Рассмотрена проблема низкой эффективности аппаратов газоочистки при улавливании частиц размером до 10 мкм. Предложен статический мультивихревой сепаратор с соосно расположенными трубами.

**Ключевые слова:** мультивихревой сепаратор, частицы пыли, мелкодисперсные частицы, система вихрей, очистка газа, улавливание частиц.

## CLEANING OF GAS EMISSIONS FROM COAL-FIRED BOILERS FROM SOLID PARTICLES

Prets Mariia A.<sup>1</sup>, Nguen Vu Linh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>Hanoi University of Industry, Vietnam

<sup>1</sup>precsmari@gmail.com, <sup>2</sup>linh\_nv@hau.edu.vn

The paper considers the problem of cleaning flue gas emissions from fine solid particles. The problem of low efficiency of gas purification devices in capturing particles up to 10 microns in size is considered. A static multi-vortex separator with coaxially arranged pipes is proposed.

**Keywords:** multi-vortex separator, dust particles, fine particles, vortex system, gas purification, particle capture.

Весомый вклад в загрязнение воздушного бассейна вносят ТЭС, основным и самым распространённым топливом для них является уголь. При сгорании угля в отходящих газах присутствует много сернистых и азотистых

оксидов. Кроме газообразных продуктов горения, которые невооруженным глазом не увидеть, в выбросах присутствуют еще и пылевидные частицы различной дисперсности. После температурной обработки угля остается твердый остаток в виде летучей золы, которая попадает в атмосферу вместе с газовыми выбросами. В золе содержатся твердые частицы негорючих элементов угля. Характер выбросов в атмосферу зависит от типа и качества угля, а также от места его добычи. Наиболее неблагоприятное воздействие на организм человека оказывают мелкодисперсные взвешенные частицы размером менее 10-20 мкм, которые при попадании в организм человека в лимфатических узлах и может привести к отложению пыли в легких.

Экстремальные климатические условия Крайнего Севера накладывают ограничения к типам используемых устройств очистки. Низкие температуры исключают использование некоторых типов аппаратов очистки. Установка некоторых типов пылеуловителей (скрубберов, электрофильтров и др.) сопряжено с большими экономическими затратами из-за климатических особенностей Крайнего Севера [1]. Аппараты сухой очистки лишены этих недостатков, однако фильтры нуждаются в регулярной замене. В противном случае при налипании частиц на фильтрующую поверхность увеличивается гидравлическое сопротивление фильтров, тем самым снижается эффективность очистки. Инерционные пылеуловители (циклоны) в свою очередь имеют большое гидравлическое сопротивление (1500-2000 Па) и низкую эффективность очистки мелкодисперсных частиц размером 10 мкм и менее. Для решения проблемы сепарации мелкодисперсных частиц применяется различное оборудование [2-4].

Авторами предлагается конструкция статического мультивихревого сепаратора с соосно расположенными трубами (рис. 1). Его особенностью является наличие концентрично расположенных круглых отверстий, которые разбивают входящий поток газа на отдельные вихри для повышения эффективности отделения частиц от газового потока инерционным методом. Наклонные пластины вдоль наружной трубы препятствуют отскакиванию частиц от стенок и возвращению их в газовый поток.

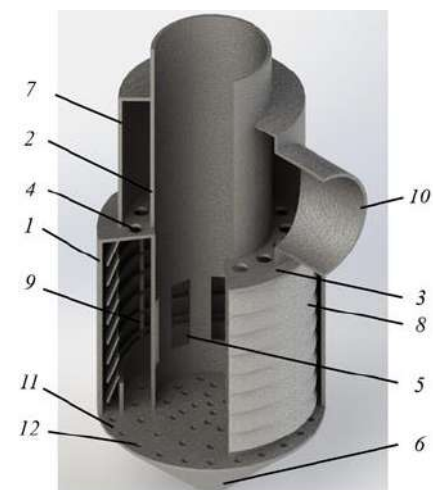


Рис. 1. Устройство статического мультивихревого сепаратора

Конструкция аппарата предполагает возможность его работы при низких скоростях газового потока при сохранении высокой эффективности очистки мелкодисперсных частиц размером менее 10-20 мкм.

### Источники

1. Дмитриев, А.В. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, В. Л. Нгуен // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 3-9. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-1-3-9.

2. 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.

3. Зинуров, В. Э. Исследование изменения эффективности очистки газового потока от мелкодисперсных частиц прямоугольным сепаратором при разной степени забивки дугообразных элементов пылью / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. В. Соловьева, Д. Н. Латыпов // Вестник технологического университета. – 2019. – Т. 22. – № 8. – С. 42-46.

4. 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.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА**

Репьёв Виктор Анатольевич

канд. тех. наук Попкова Оксана Сергеевна

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

19repik76@gmail.com

В статье приведены результаты расчетов температуры по шкале Кельвина при использовании относительного термического коэффициента. На усовершенствованной лабораторной установке проводились замеры температур и давления с фиксацией показаний в контрольных температурных точках. Далее производился расчет относительного термического коэффициента и приведение показаний по шкале Кельвина. Нагрев герметичной ёмкости состоящей из трубы и запаянными с двух сторон фланцами производился при помощи электронагревателя с диммером.

**Ключевые слова:** шкала Кельвина, температура, относительный термический коэффициент.

## **DETERMINATION OF TEMPERATURE USING THE RELATIVE THERMAL COEFFICIENT**

Repyev Victor A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

19repik76@gmail.com

The article presents the results of calculations of temperature on the Kelvin scale using the relative thermal coefficient. Temperature and pressure measurements were carried out on an improved laboratory installation with readings recorded at control temperature points. Next, the relative thermal coefficient was calculated and the readings were given on the Kelvin scale. The sealed container consisting of a pipe and flanges sealed on both sides was heated using an electric heater with a dimmer.

**Keywords:** Kelvin scale, temperature, relative thermal coefficient.

Температура как характеристика состояния тела может быть измерена с помощью ртутных и спиртовых термометров, а также с помощью альтернативных методов измерений, с использованием математической обработки полученных результатов.

Вид лабораторной установки показан на рис.1. Герметичный сосуд наполнен воздухом подключен к электронному термометру и барометру. Нагрев производится с помощью электротена. Нагрев сосуда можно регулировать с помощью реостата.

Для измерений температура сосуда поддерживается постоянной. При проведении эксперимента производились измерение температуры внутри установки и замерялись перепады давления.



Рис.1 . Экспериментальная установка

При проведении расчетов по полученным данным эксперимента необходимо внести как поправку к измеренным в опыте величинам  $\Delta p$  с соответствующим знаком  $\Delta p(t) = \Delta p \pm \Delta p_0$ . В процессе эксперимента измеряем изменение давления  $\Delta p(t)$  в герметичном сосуде внутри установки относительно атмосферного и рассчитываем его через относительный термический коэффициент с учётом поправки  $\pm \Delta p_0$ [2].

С учетом этого перепад давления в зависимости от температуры можно вычислить по формуле:

$$\Delta p(t) = \pm \Delta p_0 + \alpha \cdot p_H \cdot t$$

В начале эксперимента проводим калибровку электрического датчика давления с помощью водяного U-манометра.

Примем калиброванный коэффициент  $K_{кл} = 1,2$  для поправки

$$\Delta p(t) = K_{\text{кл}} \times \Delta p_{\text{изм}}.$$

Поправка на 1мм.рт.ст.=9,806 Па появляется за счет непрогретого объема в трубках, термического расширения сосуда и т.д. При снятии показаний при открытом сосуде ее можно не учитывать, так как при обработке учтётся разность показаний и  $\Delta p=0,01$  Па уничтожаются.

Результаты измерений: начальные параметры  
 $t_{\text{н}}=24,6$  °С,  $\Delta p_{\text{изм}}=0,07$  кПа,  $P_{\text{атм}}=101,3$  кПа,  $\Delta p_{\text{н}}=0,084$  кПа.

При  $t_1=32$  °С  $\Delta p_{\text{изм}1}=2,17$  кПа,  $\Delta p_{\text{н}}=2,604$  кПа.

При  $t_2=40,3$  °С  $\Delta p_{\text{изм}2}=4,59$  кПа,  $\Delta p_{\text{н}}=5,508$  кПа.

Вычисляя термический коэффициент через давление [3,4]

$$\alpha = \frac{p - p_{\text{н}}}{p_{\text{н}}(T - T_{\text{н}})}$$

и используя формулу

$$T_0 = \alpha_0^{-1},$$

получим температуру внутри установки  $T_{01}=273,16$  К и  $T_{02}=268,9$  К.

Таким образом, в результате выполнения работы получили значение температур внутри емкости по шкале Кельвина используя относительный температурный коэффициент по измеренному перепаду давления.

### Источники

1. Кириченко Н.А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика / Н.А. Кириченко. – М.: Физматкнига, 2005. – 176 с.
2. Сивухин Д.В. Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин. – М.: Физматлит МФТИ. Т 2, 2006. – 544 с.
3. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. 5-е изд. – М.: МЭИ, 2008. – 496 с.
4. Осипов А.И. Температура и энтропия. Физико-химическая кинетика в газовой динамике / А.И. Осипов, Н.Н. Сысоев, А.В. Уваров. Электронный журнал. Т 2, 2004 г. – URL: <http://www.chemphys.edu.ru>.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ В ТЕПЛООБМЕНЕ

Сидоров Михаил Павлович

Науч. рук. кандидат техн. наук, доц. Шинкевич Татьяна Олеговна

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

ms14300@gmail.com

В данной статье обзревается цели и методы интенсификации теплообмена в промышленных технологических аппаратах и энергетических установках.

**Ключевые слова:** теплообмен, интенсификация, технологические аппараты, энергетические установки, трубчатые теплообменники.

## APPLICATION OF INTENSIFICATION IN HEAT EXCHANGE

Sidorov Mikhail P.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ms14300@gmail.com

This article reviews goals of and methods for intensifying heat transfer in industrial technological devices and power plants.

**Keywords:** heat exchange, intensification, technological devices, power plants, tubular heat exchangers.

Heat exchanger intensification refers to a suite of strategies aimed at supercharging the rate of heat exchange within these devices. In simpler terms, it's about exchanging more heat with either the same or even less equipment.

Power plant performance hinges heavily on heat exchanger (HE) parameters. These devices are massive. As power plants grow stronger (a key trend), HE size and weight steadily inflate. Consequently, optimizing HEs becomes increasingly crucial, aiming to: 1) shrink size and weight (reducing metal usage), and 2) lower coolant pumping power, all while maintaining constant thermal output [1].

Currently and in the future, improving HEs through effective heat transfer intensification methods remains a primary, accessible, and justified approach to reducing power plant mass and boosting efficiency. However, evaluating these methods and devices is complex due to the variety of factors to consider [2].



Beyond the technical efficiency of intensifiers, numerous economic (development, manufacturing, operation, etc.) and production factors (manufacturability, molding, installation) need to be assessed. Additionally, reliability (compatibility, durability), safety, and other aspects must be considered [3].

Heat exchanger developers typically utilize intensification methods to achieve the following beyond meeting technical specifications:

- 1) Increase existing HE thermal power without changing coolant pumping power (or pressure losses) at a fixed coolant flow rate,
- 2) Decrease temperature difference between heat carriers for a given thermal power with fixed HE dimensions,
- 3) Shrink HE size and weight while maintaining its thermal power and pressure loss levels, and
- 4) Reduce coolant pumping power at a fixed thermal power while maintaining the heat exchange surface area.

Essentially, intensification methods lessen the thermal resistance of wall layers during HE convective heat transfer, leading to an increase in heat transfer coefficient with or without increasing surface area.

Tubular HEs dominate the global market (80-90%). Their benefits include a wide range of operating conditions and applicability across various industries and technologies. However, most industrial tubular HEs suffer from low performance efficiency [4].

While various heat transfer intensification methods are widely used globally, their application in Russia remains limited, primarily relying on different fin types. To address this, several key areas should be addressed:

- 1) Knowledge dissemination: Share information on existing and innovative intensification techniques through industry forums, workshops, and publications. Train engineers and technicians to implement these methods effectively. Foster collaboration between academia, research, and industry to drive innovation and knowledge sharing.

- 2) Techno-economic analysis: Evaluate the financial feasibility of implementing these technologies across different industries. Quantify potential benefits in terms of energy savings, reduced equipment size/cost, and enhanced productivity. Develop case studies showcasing successful application examples.

- 3) Equipment design: Develop and manufacture heat exchangers with built-in intensification solutions, considering the specific needs of different industries and applications. Optimize intensifier design to maximize heat transfer while minimizing pressure drop and ensuring energy efficiency.

4) International collaboration: Partner with international experts to access advanced technologies and knowledge. Adapt and customize foreign technologies for Russian industries. Encourage technology transfer and licensing agreements to facilitate the adoption of innovative solutions.

5) Focus on efficiency and sustainability: Prioritize intensification techniques that deliver significant energy savings and reduce the environmental footprint. Develop lightweight and compact equipment to minimize material usage and manufacturing costs. Consider the entire equipment lifecycle, including operational costs and maintenance requirements.

6) Research and development: Invest in research to develop novel and improved intensification techniques. Explore innovative approaches like nanotechnology and biomimicry to enhance heat transfer. Utilize advanced computational tools for optimal intensifier design [5].

By implementing these strategies, Russia can unlock the significant potential of heat transfer intensification, leading to the development of more efficient and sustainable heat transfer equipment and ultimately contributing to the advancement of the country's energy and industrial sectors.

### **Источники**

1. Терехов В.И., Калинина С.В., Леманов В.В. Механизм теплопереноса в наножидкостях: современное состояние проблемы (обзор). Ч. 2: Конвективный теплообмен // Теплофизика и аэромеханика. 2010. Т. 17. № 2. С. 173–188.

2. Webb R.L. Enhancement of Single Phase Heat Transfer // Handbook of Single Phase Convective Heat Transfer / S. Kakac, R.K. Shah, W. Aung, eds. N.Y.: Wiley, 1987. Chap. 17

3. Jensen M.K., Shome B. Literature Survey on Heat Transfer Enhancement Techniques in Refrigeration Applications. Report ORNL/Sub/91 SL794. Oak Ridge National Laboratory. TN: Oak Ridge, 1994.

4. Интенсификация тепло и массообмена на макро, микро и наномасштабах / Б.В. Дзюбенко, Ю.А. Кузма Кичта, А.И. Леонтьев и др. М.: ФГУП “ЦНИИАтоминформ”, 2008.

5. Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования: Интенсификация теплообмена: монография / Ю.Ф. Гортышов, И.А. Попов, В.В. Олимпиев и др. / под общ. ред. Ю.Ф. Гортышов

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ЖИДКОСТИ ТРУБОЙ

Шаймарданов Ансель Ренатович<sup>1</sup>, Мугинов Арслан Маратович<sup>2</sup>

Науч. рук. к. т. н. Зинуров Вадим Эдуардович

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

ansel.shaymardanov@gmail.com<sup>1</sup>, aqwewerr@gmail.com<sup>2</sup>

В данной работе представлены результаты эксперимента. На основе полученных данных определена эффективность улавливания частиц основной трубой, через которую проходит поток газа с мелкодисперсными частицами.

**Ключевые слова:** мелкодисперсные частицы, природный газ, сепаратор.

## DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF TRAPPING FINE PARTICLES OF LIQUID BY A PIPE

Shaimardanov Ansel R.<sup>1</sup>, Muginov Arslan M.<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ansel.shaymardanov@gmail.com<sup>1</sup>, aqwewerr@gmail.com<sup>2</sup>

This paper presents the results of the experiment. Based on the data obtained, the efficiency of particle capture by the main pipe through which a gas stream with fine particles passes is determined.

**Keywords:** fine particles, natural gas, separator.

Сегодня на автономных станциях газ, необходимый для обеспечения их электроэнергией, очищают при помощи сепараторов. Эффективность работы которых напрямую влияет на долговечность установленного оборудования (генераторы, редукторы). Поэтому вопрос о эффективности работы сепараторов актуален на сегодняшний день [1].

В данной работе представлена методика определения эффективности улавливания мелкодисперсных частиц жидкости трубой. Результаты получены в ходе эксперимента на установке (рис. 1).

Установка состоит из основной трубы 1, вентилятора 2, четыре параллельно подключенных камер небулайзера 3, расходомера 4, компрессора 5, тройника 6, тупиковой трубы 7.

Вентилятор 2 обеспечивает необходимую скорость потока воздуха, который при помощи 4 камер небулайзера 3, объемом 8 мл каждая, подаются диспергированные частицы масла, размером примерно 3,16 мкм. Их подачу обеспечивает компрессор 5 TORNADO AC-580 мощностью 120 Вт.

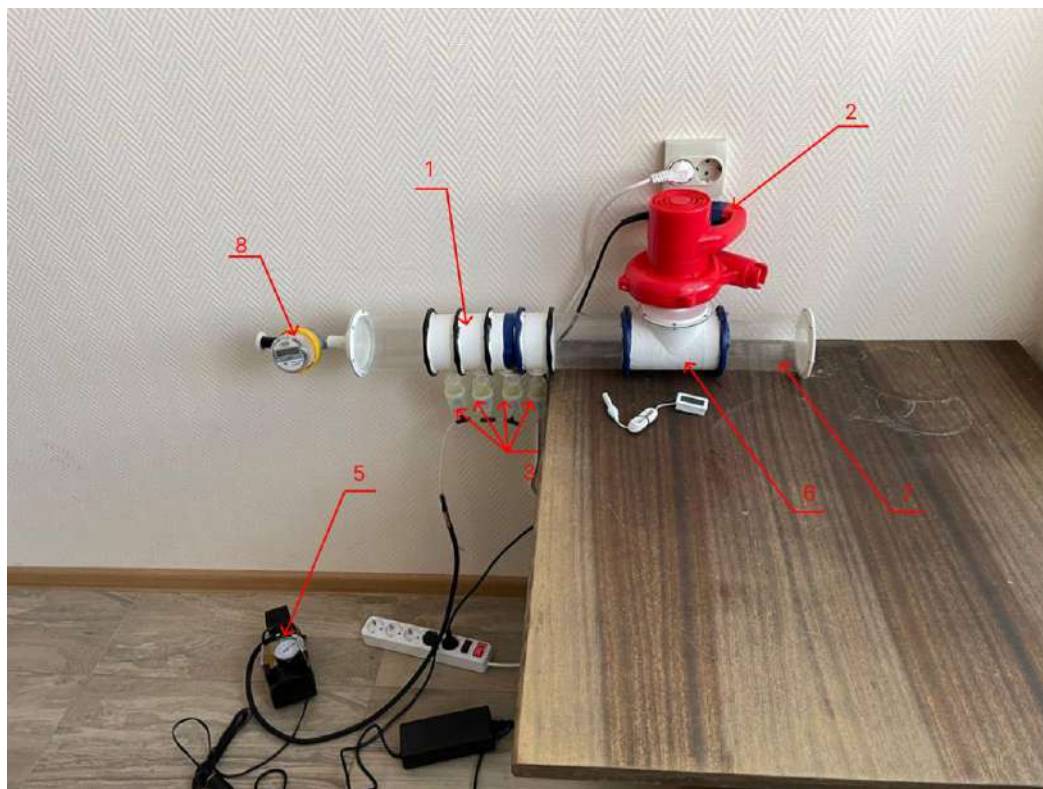


Рис. 1. Экспериментальная установка

Для вычисления эффективности улавливания частиц сепарационной колонной, которая устанавливается на основную трубу, необходимо провести вычисления эффективности полной установки (установка, изображенная на рис. 1, с установленной сепарационной колонной) и эффективности основной трубы. И, используя формулу (1), определить значение эффективности сепарационной колонны.

$$E_s = 1 - (1 - E_1)(1 - E_2), \quad (1)$$

где  $E_s$  – эффективность полной установки;  $E_1$  – эффективность основной трубы;  $E_2$  – эффективность сепарационной колонны.

В ходе проведения эксперимента были получены следующие данные (таблица 1):

Массы частей конструкции

Состояние	Масса основной трубы, г	Масса тройника, г	Масса тупиковой трубы, г	Масса фильтра, г	Масса прокладок (сальников), г
До эксперимента	340,16	106,10	79,76	37,64	8,21
После эксперимента	340,50	106,20	79,79	40,40	8,21

Дополнительными измерениями, было установлено, что всего в поток было подмешано 8,48 г диспергированной жидкости.

Эффективность  $E_1$ , в нашем случае вычисляется по формуле (2):

$$E_1 = \frac{M_1}{M_2}, \quad (2)$$

где  $M_1$  – масса частиц, оставшихся в основной трубе;  $M_2$  – масса частиц, запущенных в поток воздуха ( $M_2=8,48$  г).

Исходя из расчета эффективности улавливания частиц основной трубой, было получено, что 38,09 % частиц, запущенных в трубу, осталось на ее стенках.

Таким образом определена эффективность улавливания мелкодисперсных частиц жидкости основной трубой.

### 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.

## СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРОВ

Шипиловских Никита Александрович, Щербенев Николай Андреевич

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Попкова Оксана Сергеевна

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

retman41@mail.ru, kolasi0978@mail.ru

В данной статье рассмотрены различные методы измерения расходов в теплоэнергетике, основанные на показаниях приборов. Измерение расходов тепловой энергии имеет важное значение для энергетических компаний и потребителей, позволяя осуществлять точный учёт и контроль потребления тепла в различных процессах и системах. В ходе работы были изучены различные типы приборов измерения расхода тепловой энергии, такие как теплосчетчики, термометры, датчики расхода газа и другие устройства, способные точно определить объем и качество переданной энергии. Проанализированы основные принципы работы и погрешности этих приборов.

**Ключевые слова:** теплоэнергетика, показания приборов, теплосчетчики, термометры, точность измерений, измерение расходов.

## METHODS OF MEASURING FLOW RATES IN THE HEAT AND POWER INDUSTRY BASED ON INSTRUMENT READINGS

Shipilovskih Nikita A., Shcherbenev Nikolay A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

retman41@mail.ru, kolasi0978@mail.ru

This article considers various methods of measuring heat energy consumption based on instrument readings. Measurement of heat energy consumption is important for energy companies and consumers, allowing accurate metering and control of heat consumption in various processes and systems. In the course of the work different types of heat energy flow measurement devices such as heat meters, thermometers, gas flow sensors and other devices capable of accurately determining the volume and quality of transferred energy have been studied. The basic principles of operation and errors of these devices have been analyzed.

**Keywords:** heat power engineering, instrument readings, heat meters, thermometers, measurement accuracy, flow measurement.

В области теплоэнергетики особое значение приобретает точное измерение расхода тепловой энергии с целью оптимизации работы систем отопления и предотвращения потерь тепла [1]. Для этого используются различные методы измерения, основанные на данных, полученных от различных приборов и счётчиков. Показания этих приборов помогают контролировать расходы на отопление, оценивать эффективность установок и принимать решения по улучшению теплоснабжения.

В системах отопления существует несколько типов измерительных приборов для анализа расходов теплоэнергии. Некоторые из них включают [2]:

1. Теплосчетчики — это специализированные приборы, такие как Сенсор ELT, ВЕЗА-2400, Меркурий-230, ТЭ-271, Теплота-277, которые измеряют количество переданной тепловой энергии через теплотрассу или установку отопления [3]. Они могут быть установлены как на отдельных потребителях, так и на центральных тепловых точках для коллективного потребления. Первые два работают по ультразвуковому методу измерения расхода теплоносителя с погрешностью 1-2%. Меркурий-230 и ТЭ-271 имеют погрешность 2-3%. При этом Меркурий-230 измеряет поток тепла по периодическому нагреву рабочего тела, а ТЭ-271 измеряет разницу температур теплоносителя перед и после теплосъемника. Счётчик Теплота-277 также работает на основе разницы температур, но его погрешность измерения уже составляет 3%.

2. Термометры предназначены для измерения температуры в системе отопления с целью оптимизации работы системы и поддержания заданного уровня тепла в помещениях [4]. Существует несколько типов термометров, таких как жидкостные, дифференциальные и медные. Жидкостные и дифференциальные термометры имеют погрешность от  $\pm 0,5$  до  $\pm 1$  градуса Цельсия. Жидкостные термометры работают на основе расширения или сжатия жидкостей, таких как ртуть или спирт, в зависимости от температуры, а дифференциальные термометры измеряют разницу температур между двумя точками. Отличительным является медный, который меняет электрическое сопротивление проводника в зависимости от температуры. Погрешность измерения медного термометра может быть в пределах  $\pm 1$  градуса Цельсия.

3. Датчики расхода газа, имеющие разную конфигурацию, такие как ультразвуковые, турбинные, электромагнитные и вихревые [5]. При использовании газовых котлов или других газовых отопительных установок, данные датчики используются для измерения объёма потребляемого газа и расходов на отопление. Так ультразвуковые датчики

работают на основе измерения времени прохождения звуковых импульсов через поток газа. Погрешность таких датчиков обычно составляет от 1% до 2%. Следующие идут турбинные и электромагнитные, у таких датчиков одинаковая погрешность, составляющая от 0.5% до 1%, однако разный принцип работы. Датчики на основе турбины используют вращающиеся лопасти или ротор для измерения скорости потока газа. А электромагнитные — измеряют изменение электрического сопротивления или индукции в потоке газа. Отличаются от привычных нам приборов вихревые датчики. На основе образования вихрей при прохождении газа через препятствие рассчитывается скорость потока. Погрешность вихревых датчиков обычно составляет от 0.75% до 1.25%.

Измерение расходов тепловой энергии играет главную роль в развитии теплоэнергетики. Поэтому способы и приборы измерений должны обеспечивать точность для эффективного контроля, а также для оперативного выявления и анализа неэффективных потерь, оптимизации процессов и повышения энергоэффективности системы. Использование современных технологий измерения позволяет сократить затраты на энергоносители и снизить негативное воздействие на окружающую среду, способствуя устойчивому развитию отрасли.

### **Источники**

1. РосТепло : сайт. – URL:[https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_Shabl on.php?id=323](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_Shabl on.php?id=323) (дата обращения: 18.02.2024)
2. АЛЬФАТЭП : сайт. – URL:[https://alfatep.ru/article/schetchiki/vidy\\_s chetchikov\\_teplo/?ysclid=lsrjye64w598860678](https://alfatep.ru/article/schetchiki/vidy_s chetchikov_teplo/?ysclid=lsrjye64w598860678) (дата обращения: 18.02.2024)
3. АКВАХИТ : сайт. –URL:<https://akvahit.ru/articles/kak-rabotaet-schetchik-otopleniya-raznovidnosti-i-printsipy-raboty- teploschetchikov/?ysclid=lsrk2rv045865690564> (дата обращения: 18.02.2024)
4. ЭСКО : сайт. - URL: <https://www.eskomp.ru/biblioteka/stati/zachem-n uzheny-manometry-i-termometry-dlya-otopitelnogo-oborudovaniya.htm?ysclid=lsrk7c9siu800285664> (дата обращения: 18.02.2024)
5. WEXON : сайт. - URL: [https://www.wexon.ru/guide/gazovye\\_raskhod omery\\_vidy\\_i\\_kharakteristiki/?ysclid=lsrk9ptqbm926614146](https://www.wexon.ru/guide/gazovye_raskhod omery_vidy_i_kharakteristiki/?ysclid=lsrk9ptqbm926614146) (дата обращения: 18.02.2024)



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАДИРЕН ПРОТИВОТОЧНОГО И ПОПЕРЕЧНОТОЧНОГО ТИПОВ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ЗАТРАТАМ

Шуктомова Алина Григорьевна<sup>1</sup>, Nguyen Vu Linh<sup>2</sup>  
канд. тех. наук, доц. Зинуров Вадим Эдуардович  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>suktomovaalina@gmail.com, <sup>2</sup>linh\_nv@hau.edu.vn

В статье представлен сравнительный анализ двух типов градирен: противоточного и поперечноточного, с акцентом на энергетические затраты, связанные с их эксплуатацией. Исследование направлено на выявление наиболее энергоэффективного решения для систем охлаждения промышленных установок. Результаты исследования показывают, что градирни с поперечноточным движением фаз обладают меньшими энергетическими затратами по сравнению с противоточными градирнями, что делает их более предпочтительным вариантом для использования в промышленности.

**Ключевые слова:** градирни, энергетические затраты, противоточный тип, поперечноточный тип, охлаждение воды, эффективность систем охлаждения.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF COUNTERFLOW AND CROSSFLOW COOLING TOWERS BY ENERGY EXPENDITURES

Shuktomova Alina G<sup>1</sup>, Nguyen Vu L<sup>2</sup>  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>suktomovaalina@gmail.com, <sup>2</sup>linh\_nv@hau.edu.vn

The article presents a comparative analysis of two types of cooling towers: counterflow and crossflow, with a focus on the energy expenditures associated with their operation. The study aims to identify the most energy-efficient solution for cooling systems in industrial installations. The results demonstrate that cooling towers with crossflow phase movement incur lower energy expenditures compared to counterflow cooling towers, making them a more preferable option for industrial use.

**Keywords:** cooling towers, energy expenditures, counterflow type, crossflow type, water cooling, cooling system efficiency.

Эффективное охлаждение воды в промышленных процессах является ключевой задачей для обеспечения стабильной работы оборудования. Градирни, как основные элементы систем охлаждения, играют важную роль в минимизации энергетических затрат на охлаждение циркулирующей воды. Важность выбора оптимальной конструкции градирни обусловлена необходимостью достижения высокой тепловой эффективности при минимальных энергетических затратах.

Цель исследования заключается в сравнении энергетических затрат градирен противоточного и поперечноточного типов, что позволит инженерам и проектировщикам анализировать энергетическую эффективность градирен на этапе проектирования и эксплуатации.

Основным показателем, на который ориентировалось исследование, являлись энергетические затраты на единицу охлаждаемой воды. Важной частью работы стало изучение влияния свободного объема насадки на энергетическую эффективность этих систем. Анализ проводился на основе классических методик расчета, включая учет тепловых и аэродинамических характеристик градирен [1, 2].

В ходе исследований установлено, что противоточные градирни требуют на 116% больше энергии по сравнению с поперечноточными градирнями. Это обусловлено тем, что в противоточных градирнях более высокая эффективность теплообмена достигается за счет более интенсивного контакта между водой и воздухом, что влечет за собой увеличение энергетических затрат на приведение в действие вентиляционных систем [3].

Исследование показало, что изменение свободного объема насадки в градирнях существенно влияет на энергетические затраты. В противоточных градирнях увеличение свободного объема насадки приводит к росту энергетических затрат, тогда как в поперечноточных градирнях наблюдается обратная тенденция: с увеличением объема насадки энергетические затраты уменьшаются.

В ходе анализа было выявлено, что конструкция оросителя оказывает значительное влияние на распределение воды и воздуха в градирне, что, в свою очередь, влияет на общие энергетические затраты системы. Поперечноточные градирни показали лучшую производительность с точки зрения энергозатрат благодаря более равномерному распределению охлаждающего потока.

Особенностью поперечноточных градирен является их способность эффективно работать с насадками, изготовленными из анизотропных материалов. Это свойство позволяет снизить энергетические затраты по сравнению с противоточными градирнями, где анизотропия материалов насадки может приводить к увеличению сопротивления потоку и, как следствие, к росту энергозатрат.

Результаты исследования демонстрируют значительное влияние выбора типа градирни на энергетическую эффективность системы охлаждения. Показано, что поперечноточные градирни являются более предпочтительным выбором с точки зрения минимизации энергетических затрат, особенно при использовании анизотропных материалов насадки и оптимизации свободного объема оросителя. Полученные данные могут служить основой для проектирования более эффективных и экономичных систем охлаждения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20061.

### Источники

1. Дмитриев, А. В. Сравнительный анализ градирен противоточного и поперечноточного типов по энергетическим затратам / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, В. В. Харьков, А. Ф. Зиангиров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, № 4(60). – С. 58-68.

2. Харьков, В. В. Технико-экономический анализ применения гибридной градирни с капельно-пленочным взаимодействием фаз / В. В. Харьков, И. Н. Мадышев, М. Р. Вахитов, О. С. Дмитриева, В. Э. Зинуров // Вестник Казанского государственного энергетического университета – 2023. – Т. 15. – № 3 (59). – С. 107-117.

3. Madyshev, I. N. Thermal Resistance of a Tubular Radiator of the Hybrid System for Cooling Circulating Water / I. N. Madyshev, V. V. Kharkov, V. E. Zinurov // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2023. – V. 96. – P. 627–635. DOI: 10.1007/s10891-023-02724-x

УДК 681.2

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ МАНОМЕТРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНИЦЫ ДАВЛЕНИЙ МЕЖДУ ДВУМЯ ТОЧКАМИ В СИСТЕМЕ

Якунькин Максим Игоревич

Науч. рук. канд. техн. наук, и.о. зав. кафедрой Зинуров Вадим Эдуардович

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

hanter372mi@mail.ru

В статье были рассмотрены дифференциальные манометры, их виды, основные действия и отличия от обычных аналогов. В качестве примера использовали прибор Testo 510i для изучения принципа его работы.

**Ключевые слова:** дифференциальный манометр, давления газов и жидкостей, измерительные приборы.

# DIFFERENTIAL PRESSURE GAUGES FOR MEASURING THE PRESSURE DIFFERENCE BETWEEN TWO POINTS IN THE SYSTEM

Yakunkin Maxim I.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

hanter372mi@mail.ru

The article considered differential pressure gauges, their types, main actions and differences from conventional analogs. Testo 510i device was used as an example to study the principles of its operation.

**Keywords:** differential pressure gauge, gas and liquid pressures, measuring instruments.

Одним из важнейших параметров, характеризующих тот или иной технический процесс, является давление, ввиду этого появляется острая необходимость в инженерных измерительных приборах. Дифференциальный манометр – прибор для измерения перепада давлений, использующий для снятия показаний уровня жидкостей или газов в ёмкостях под давлением. Обычные манометры измеряют показания определенной точки, дифференциальные – в двух, то есть его используют для сравнения показаний [1].

Дифманометры разделяются на группы и виды, которые продемонстрированы на рисунке 1.

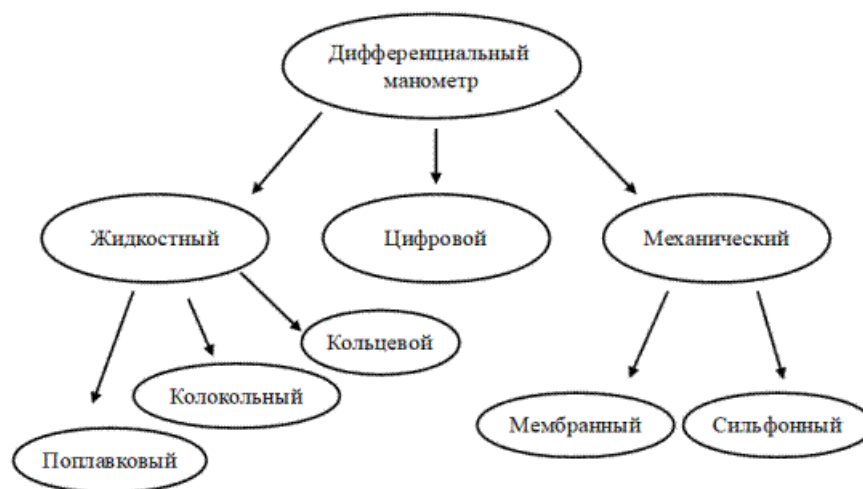


Рис. 1. Группы и виды дифференциальных манометров.

В качестве рассмотрения цифрового дифманометра был выбран testo модели 510 i. Из особенностей можно отметить, что имеется поддержка Bluetooth. Таким образом, существует возможность подключения к любому мобильному устройству с заранее установленным приложением, с помощью которого можно наблюдать за измерениями. Дифференциальный манометр оснащен пьезорезистивными датчиками. Они содержат резисторы, имеющую форму моста Уитстона (измерительного моста) [2]. При деформации от воздействия силы давления датчики меняют свое электрическое сопротивление, тем самым образуют соответствующий электрический сигнал, который обрабатывается и анализируется внутри манометра. Подробная характеристика testo 510 i показана в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики дифманометра testo 510 i

Вес, кг	0,092
Материал корпуса	АБС пластик
Рабочая температура, °С	От -20 до +50
Размеры, мм	148×36×23
Автономность батареи, ч	150
Тип батареи	3 батарейки ААА
Погрешность, гПа	±0,05



Рис. 2. Дифференциальный манометр testo 510 i

Дифференциальный манометр измеряет разницу давлений в двух точках. При этом измерения имеют небольшую погрешность (рис. 2).

### **Источники**

1. Патент № 2795903 С1 Российская Федерация, МПК G01N 9/26. Устройство для контроля концентрации азотной кислоты : № 2022127097: заявл. 18.10.2022: опубл. 15.05.2023 / М. Ю. Зайцев, А. Е. Казикин, В. Я. Соболев [и др.]; заявитель Акционерное общество "Машиностроительный завод". – EDN JXATFB.

2. Иванов, О. О. Измерительные приборы в гидроаэродинамике: Учебное пособие / О. О. Иванов, В. В. Трифонов, В. В. Веденеев. – Москва : ООО "МАКС Пресс", 2023. – 36 с. – ISBN 978-5-317-06934-6. – EDN SZDIEC.

## Секция 7. Экологические проблемы водных биоресурсов

УДК 574.2

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ ВОДЫ ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Абрамова Софья Михайловна<sup>1</sup>, Сиразиева Диана Евгеньевна<sup>2</sup>,  
Гордеева Мария Эдуардовна<sup>3</sup>

Науч. рук. канд. биол. наук Гордеева М.Э.

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

<sup>2</sup>d.sirazieva@mail.ru

Суммарная антиоксидантная активность – это современный, востребованный показатель, требующий многочисленных дополнительных исследований, особенно в области аквакультуры. В связи с этим в работе показано сравнение значений суммарной антиоксидантной активности природных вод из разных источников в сравнении с дистиллированной водой как контролем.

**Ключевые слова:** суммарная антиоксидантная активность, вода, природная вода.

### COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF ANTIOXIDANT PROPERTIES OF WATER FROM DIFFERENT SOURCES

Abramova Sofya M.<sup>1</sup>, Sirazieva Diana E.<sup>2</sup>, Gordeeva Maria E.<sup>3</sup>

Scientific advisor Gordeeva M.E.

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>d.sirazieva@mail.ru

Total antioxidant activity is a modern, demanded indicator that requires numerous additional studies, especially in the field of aquaculture. In this regard, the work shows a comparison of the values of the total antioxidant activity of natural waters from different sources in comparison with distilled water as a control.

**Keywords:** total antioxidant activity, water, natural water.

Самым важным и главным для большинства живых существ веществом в окружающем материальном мире является природная вода. Природная вода – это первоисточник всего живого. Это самое удивительное, но на сегодняшний день до сих пор до конца не изученное,

соединение на Земле. Природные воды представляют собой динамическую химическую систему, содержащую в своем составе сложный комплекс газов, минеральных и органических веществ в виде истинных растворов, взвесей и коллоидов, которая зависит не только от условий окружающей среды, но и от различных процессов, протекающих как вне, так и непосредственно в водном объекте. В связи с этим, исследование и сравнение гидрохимических свойств воды, используя современные показатели, остается актуальным на сегодняшний день, особенно в области аквакультуры, где вода – это среда обитания гидробионтов.

Одним из популярных и исследуемых гидрохимических показателей на сегодняшний день является антиоксидантная активность. В связи с тем, что это достаточно современный показатель и мало изученный в области аквакультуры, необходим сбор достаточного объема данных для возможности анализа и использования на практике. В большинстве экосистем в результате окислительно-восстановительных реакций происходит образование активных форм кислорода и накопление тем самым свободных радикалов. Свободным радикалом считается [1] химическое соединение, имеющее один или более неспаренных электронов, образованное в результате потери, либо приобретения одного электрона. При этом, антиоксиданты – это соединения, способные связывать содержащие неспаренные электроны частиц с образованием менее активных или вовсе неактивных радикалов [2]. Сам термин «антиоксидант» происходит от английского «antioxidant» и определяет вещество, препятствующее протеканию окислительных процессов в различных средах.

Контролем в наших исследованиях стала дистиллированная вода, т.к. она не обладает антиоксидантной активностью, поскольку в ней отсутствуют растворенные минералы, ионы и органические соединения, которые обычно способствуют повышению антиоксидантных свойств. На практике выявлено, что значение суммарной антиоксидантной активности дистиллированной воды составило 2,6124 мгRu/дм<sup>3</sup>.

Идея антиоксидантной активности талой воды (снега) основана на предположении, что тающий снег может содержать различные минералы и органические соединения, которые могут проявлять антиоксидантные свойства. В весенний период времени, попадая в водоем талая вода изменяет общую минерализацию в водоеме и другие гидрохимические показатели, что оказывает воздействие на гидробионтов. Результаты исследования показали изменение значений антиоксидантной активности талого снега от 2,4672 до 4,6442 мгRu/дм<sup>3</sup>.

Природные водоемы отличаются разной концентрацией органических соединений и минеральных веществ и других соединений,



что позволяет их классифицировать и делать выводы о возможном использовании [3]. Наиболее интересным является анализ антиоксидантных свойств природных вод и возможность классификации водоемов по данному показателю. По проведенному исследованию выявлено изменение значений суммарной антиоксидантной активности в исследуемых водоемах Казани от 3,1929 до 5,3699 мгRu/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, вода – как универсальный растворитель изменяет свой гидрохимический состав в результате происходящих процессов внутри системы и воздействия внешних факторов, что приводит к изменению и антиоксидантных свойств воды, анализ которых требует дополнительных исследований для возможности применения на практике и объективной оценки состояния экосистем.

### **Источники**

1. С.П. Завадский, И.И. Краснюк, Ю.Я. Харитонов, В.В. Тарасов, А.Н. Кузьменко, Д.А. Козин, Н.Б. Саидов, О.В. Ольшанская, А.А. Евграфов Физико-химические методы изучения антиоксидантной активности растительного сырья и продуктов его переработки // Разработка и регистрация лекарственных средств, 2017 № 2 (19) . – С.217-221
2. Antioxidants-Health Professional // National Institutes of Health URL: <https://ods.od.nih.gov> (дата обращения: 12.03.24).
3. 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. – №2. – С.31-38

УДК 574.5

## **ГИДРОБИОЦЕНОЗ БИОЛОГИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА РЫБОВОДНОЙ УСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОТОЧНОСТИ**

Ахманов Александр Радикович<sup>1</sup>, Хамитова Мадина Фархадовна<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>ahmanovsasha@gmail.com

В работе показано видовое разнообразие, численность и динамика гидробиоценоза биологического фильтра рыбоводной установки в условиях переменной проточности на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

**Ключевые слова:** видовое разнообразие, численность, динамика, гидробиоценоз, кафедра «Водные биоресурсы и аквакультура», биофильтр.

# HYDROBIOCENOSIS OF A BIOLOGICAL FILTER OF AN AQUACULTURE SYSTEM IN CONDITIONS OF VARIABLE FLOW

Akhmanov Alexandr R.<sup>1</sup>, Khamitova Madina F<sup>2</sup>.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>ahmanovsasha@gmail.com

The paper shows the species diversity, abundance and dynamics of the hydrobiocenosis of the biological filter of a aquaculture system in conditions of variable flow at the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture of the Kazan State Energy University.

**Keywords:** species diversity, abundance, dynamics, hydrobiocenosis, Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, biofilter.

Для обеспечения благополучия объектов выращивания в циркуляционных рыбоводных установках обязательным элементом блока водоподготовки является биологический фильтр. Его задача снижение концентрации растворенных продуктов метаболизма рыб и преобразование азотистых соединений в не менее токсичные для объектов выращивания формы. Биофильтр работает в двух направлениях: первое – окисление бактериями аммиака до нитритов и нитритов до нитратов, второе – переработка образующейся бактериальной биомассы гетеротрофами следующих порядков за счет движения по трофическим цепям [1]. Для полноценной работы биологического фильтра в нем должен функционировать сложный гидробиоценоз, чем длиннее трофические цепи в биотопе фильтра, тем эффективнее его работа. На состав биоценоза и его количественные характеристики сильно влияют факторы среды, такие как: скорость проточности, объем поступающих веществ, концентрация растворенного кислорода, температура, pH и др.

Нами было проведено исследование гидробиоценоза биологического фильтра в специфических условия работы. В связи с подготовкой к модернизации рыбоводная установка каф. «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ» была введена в режим работы с низкой нагрузкой и постепенным сокращение объема выращиваемых рыб и кормления, проточность в биологический фильтр обеспечивалась только в дневной период активного кормления, ночью вода в биофилтре не менялась.

Биофильтр представлен кубом с рабочим объёмом 950 л, 50% объема биофильтра был заполнено плавающей биоагрузкой HEL-X 13KLL+ с площадью защищенной поверхности  $704 \text{ м}^2/\text{м}^3$  [2]. Аэрация обеспечивалась круглосуточно, подача воды в поверхностный слой, водозабор донный.

Материалом для данной работы послужили пробы, отобранные 4 октября и 29 ноября 2023 г. Отбор проб производился из поверхностного слоя. В отобранных пробах проводилась идентификация организмов, подсчет и определение их размеров.

Всего за период исследования в составе биоценоза биофильтра было встречено 22 вида и формы гидробионтов, среди которых 5 видов и форм жгутиконосцев, 5 – веслоногих ракообразных, 4 – инфузорий, 2 – плоских червей, по одному виду и форме амёб, гастротрих, коловраток, нематод олигохет и яйца мшанки ползучей.

За 2 месяца количество видов и форм в биофильтре сократилось с 14 до 12 (рис.1): исчезли представители плоских и круглых червей, гастротрихи и яйца мшанки ползучей, появились раковинные корненожки и коловратки, выросло количество видов циклопов. Полностью сменился видовой состав жгутиконосцев и инфузорий. Повторно встречались только представители ветвистоусых ракообразных: *Ectocyclops phaleratus*, *Eucyclops serrulatus* и их науплиальные и копеподитные стадии.

Численность организмов сократилась на 70% с 2761,5 млн. экз./м<sup>3</sup> загрузки до 837,4 млн. экз./м<sup>3</sup> (рис.1). Сократилась доля жгутиконосцев с 60,3% до 19,9% от общей численности, преобладающей группой стали инфузории, составив 49,7 % от общей численности.

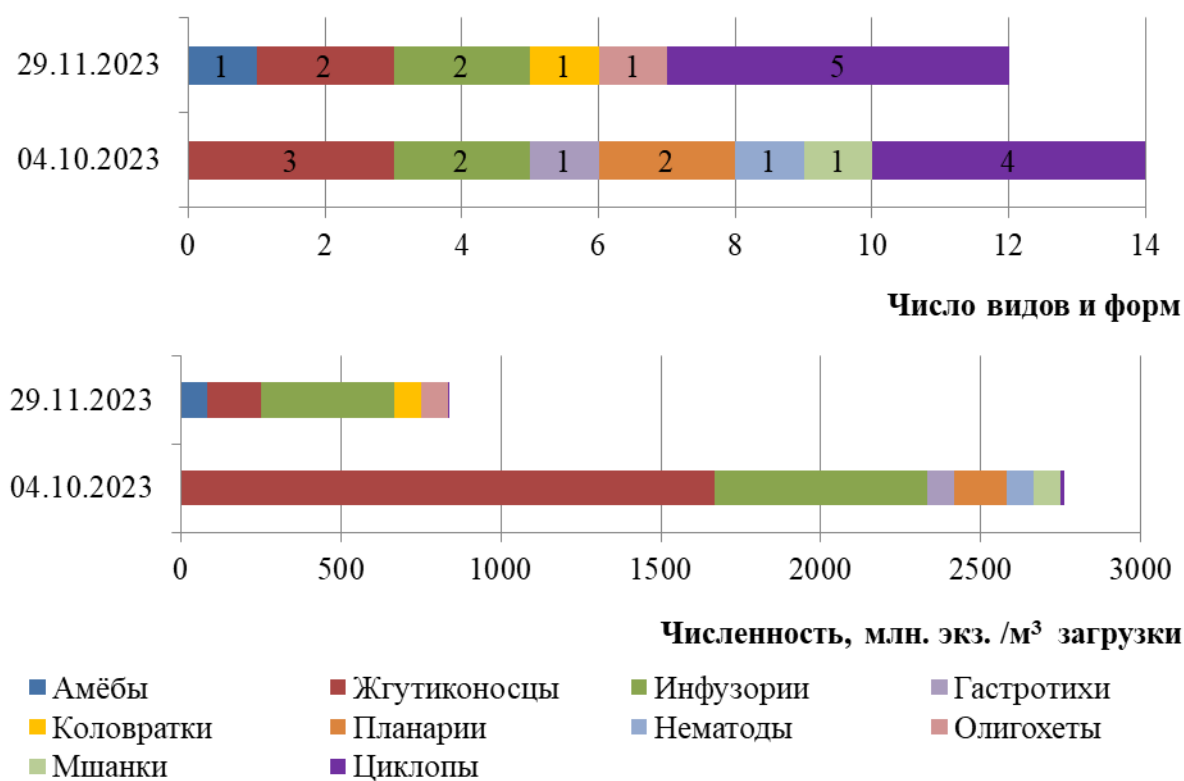


Рис. 1 Качественные и количественные показатели сообщества гидробионтов биологического фильтра

Основу биомассы, за счет наибольших индивидуальных размеров и высокой численности, составляли веслоногие ракообразные. Следует отметить, что данная группа не относится к типичным обитателям биологических очистных сооружений [1], в естественных условиях наибольшего развития они достигают в стоячих водоемах [3]. В условиях биофильтра рыбоводной установки кафедры их массовое развитие можно связать с режимом переменной проточности.

### **Источники**

1. Кутикова Л.А. Фауна аэротенков. Л.: Наука, 1984. 264 с.
2. Параметры плавающей загрузки Хеликс [Электронный ресурс]. [http://www.hel-x.ru/random\\_fills.html](http://www.hel-x.ru/random_fills.html) (дата обращения: 28.01.2024).
3. Васильева Е.А., Хамитова М.Ф. Сорерода в составе биоценоза биофильтра рыбоводной установки на кафедре ВБА. Материалы докладов XXVII Всероссийского аспирантскомагистерского научного семинара. Т. 2. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2023. С. 416-418.

УДК 574.583

## **ОСОБЕННОСТИ ЗООПЛАНКТОНА РОДНИКОВЫХ ВОД И РЕКИ ИЛЕТЬ ПО МАТЕРИАЛАМ 2022Г**

Васильева Екатерина Алексеевна<sup>1</sup>, Хамитова Мадина Фархадовна<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>vasilievakaterina2003@mail.ru

В работе приведен качественный и количественный анализ зоопланктонного сообщества реки Илеть и ее родникового притока «Золотой ключ» по материалам июля 2022 года. Выделены особенности участков с выходом родниковых вод.

**Ключевые слова:** зоопланктон, р. Илеть, родники, видовое разнообразие, численность, биомасса.

## **FEATURES OF ZOOPLANKTON IN SPRING WATERS AND THE ILET RIVER ACCORDING TO 2022 MATERIALS**

Vasileva Ekaterina A.<sup>1</sup>, Khamitova Madina F.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>vasilievakaterina2003@mail.ru

The work provides a qualitative and quantitative analysis of the zooplankton community of the Ilet River and its spring tributary “Golden Key” based on materials from July 2022. The features of areas with spring water outlets are highlighted.

**Keywords:** zooplankton, river Ilet, springs, species diversity, number, biomass.

Река Илеть – левый приток Волги в Марийской Республике. Длина реки составляет примерно 204 километра, площадь бассейна 6471 км<sup>2</sup>, ширина поймы варьирует от 30 м до 5,5 км, а глубина – от 0,2 до 3,6 м [1].

Исследование проводилось на участке реки от источника родниковых вод «Зеленый ключ» до пос. Красногорский. Участок насыщен выходами родниковых вод, температура воды на исследованном участке менялась от 12 °С до 17 °С с продвижением вниз по течению реки, прозрачность воды по диску секи составляла 2,5 м.

Материалом для работы послужили пробы зоопланктона отобранные на реке Илеть в июле 2022 года, станция 1 располагалась на участке с выходом родниковых вод источника «Зеленый ключ», станция 2 на участке реки сразу после впадения ключа в р. Илеть, 3 и 4 станции ниже по течению на 6 и 11 км соответственно (рис.1).

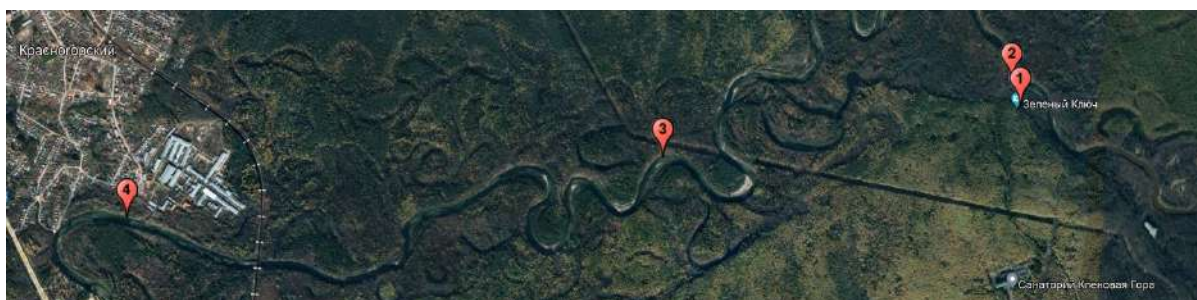


Рис.1 Станции отбора проб на р .Илеть в июле 2022 г.

Пробы отбирались планктонной сетью Апштейна. Обработка проб зоопланктона проводилась на базе лаборатории кафедры ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ» стандартными гидробиологическими методами [2].

В составе зоопланктона было выявлено 15 видов и форм зоопланктеров, из которых 5 относились к коловраткам, 2 к ветвистоусым и 4 к веслоногим рачкам, кроме того встречались планктонные формы личинок хирономид и ручейников, крупные жгутиконосцы и раковинные корненожки.

Для рек по количеству видов характерно преобладание коловраток над ракообразными [3]. Данная закономерность наблюдалась на всем протяжении реки, и в среднем составила 85% к 15%, участок источника

родниковых вод отличался – только на нем встречались веслоногие ракообразные, соотношение составило 42,9% к 57,1%. С продвижением вниз по течению увеличивалась доля прочих видов и форм рис.2.

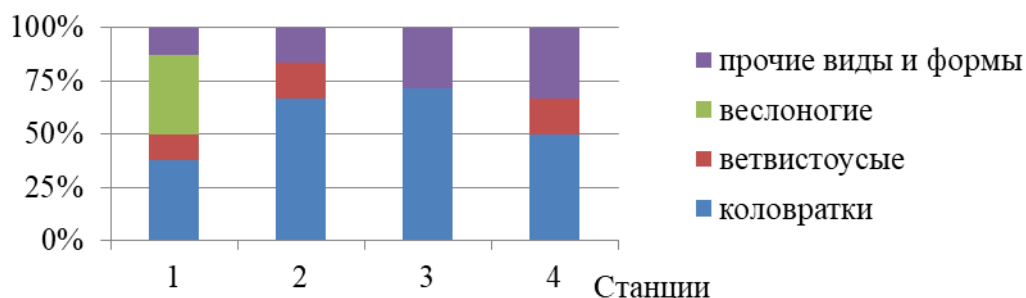


Рис. 2 Соотношение групп зоопланктона р. Илеть по числу встреченных видов и форм

К наиболее часто встречающимся видам и формам можно отнести *Brachionus calyciflorus* (Pallas,1766) (частота встречаемости – 100%), яйца коловраток (100%) и личинок хирономид (75%).

Численность зоопланктона варьировала 1,07 тыс. экз./м<sup>3</sup> до 2,40 тыс. экз./м<sup>3</sup>, наибольшие значения отмечались на станциях 2 и 3, наименьшие – на станции 4 (рис.3). Основу численности на всех станциях составляли коловратки от 50% до 88,9%. Доминирующим видом был *Brachionus calyciflorus* (Pallas,1766) с численностью до 800 экз./м<sup>3</sup>.

Биомасса зоопланктона была низкой и варьировала от 6,25 мг/м<sup>3</sup> до 45,5 мг/м<sup>3</sup>, наибольшие значения отмечались у источника на ст.1 и на ст.4, наименьшие – на станции 2 (рис.3). На ст. 1, 3 ,4 доминировали по биомассе личинки насекомых, на ст. 2, где они не были встречены, основу биомассы составляли коловратки *Asplanchna priodonta* (Gosse,1850) с биомассой 4 мг/м<sup>3</sup>. Следует отметить, что данный вид встречался только на этой станции.

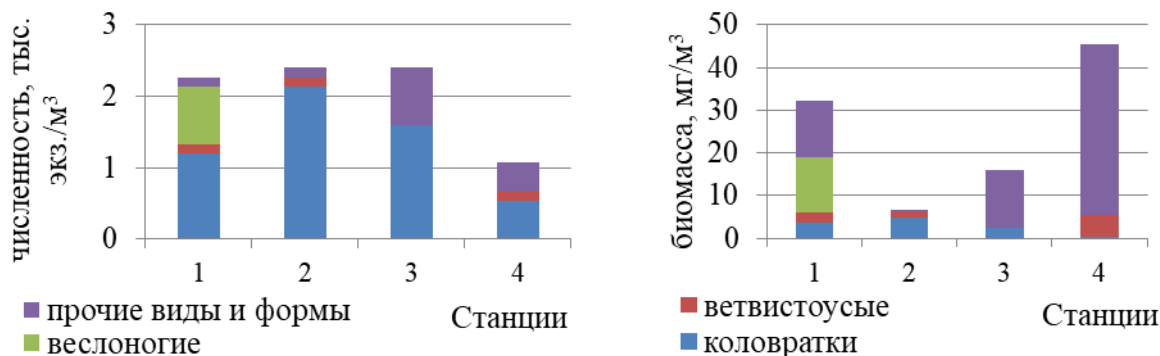


Рис. 3. Численность и биомасса зоопланктона р.Илеть в июле 2022г.

Сравнение полученных данных с предыдущими исследованиями родников и малых родниковых рек [4] выявили ряд характерных для родников и родниковых рек черт: в зонах выхода родников отмечается преобладание ракообразных по числу видов, биомасса значительно выше, чем в основном русле реки, значительный вклад в биомассу вносят насекомые и их личинки.

### **Источники**

1. Илеть // TATARICA Татарская энциклопедия [Электронный ресурс]. <https://tatarica.org/ru/razdely/priroda/gidrograficheskayaset/vodohranilisha/zainskoe-vodohranilishе> (дата обращения:27.02.2024).
2. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
3. Калайда М. Л. Гидробиология : учебное пособие для вузов / М. Л. Калайда, М. Ф. Хамитова. - СПб. : Проспект Науки, 2013. - 192 с.
4. Хамитова М.Ф. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги: дис.... кан. биол. наук: 03.02.10. Борк, 2017. 310 с.

УДК 639.3.05

## **ОСОБЕННОСТИ КАЧЕСТВА ВОД – ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДЫ В УЗВ**

Гиниятуллина Айгуль Ринатовна <sup>1</sup>, Шатруков Илья Андреевич <sup>2</sup>

Науч. рук., доктор биологических наук, профессор Калайда Марина Львовна

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> giniiatullinaai@gmail.com, <sup>2</sup> shatrukov@gmail.com

В статье рассмотрены особенности качества вод в г.Казань и их пригодность для использования в установках замкнутого водоснабжения для аквакультуры.

**Ключевые слова:** аквакультура, загрязнение вод, установки замкнутого водоснабжения.

## **FEATURES OF QUALITY POTENTIAL WATER SOURCES IN RAS**

Giniiatullina Aigul R. <sup>1</sup>, Shatrukov Ilia A. <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> giniiatullinaai@gmail.com, <sup>2</sup> shatrukov@gmail.com

The article discusses the features of water quality in Kazan and their significance for use in recirculating aquaculture systems.

**Keywords:** aquaculture, water pollution, closed water supply installations.

Качество воды как естественной среды обитания рыбы является одним из основополагающих аспектов аквакультуры, оно должно соответствовать потребностям выращиваемой рыбы для ее успешного роста. Вода источника должна соответствовать биологическим особенностям выращиваемых видов рыб, предотвращать накопление в рыбе токсичных веществ, не должна быть источником заболеваний рыб [2] Вспышки болезней в настоящее время являются одной из самых серьезных угроз для аквакультуры и, вероятно, будут усугубляться изменением климата.

В Государственном докладе Республики Татарстан о состоянии природных ресурсов приведены результаты замеров на пяти пунктах мониторинговых наблюдений реки Волга в 2021 году, представленные в таблице 1 [1]. Наиболее часто превышение ПДК отмечается для марганца, железа и фосфата ионов, а наибольшее количество превышений ПДК - на пункте в с. Кзыл Байрак. В отдельных пунктах максимальная концентрация марганца, фосфата ионов, БПК5 превышает среднегодовую в 3 и более раз, такие колебания несомненно оказывают негативное влияние на качество продукции аквакультуры в р. Волга.

Таблица 1.

Результаты замеров на пунктах мониторинговых наблюдений реки Волга в Республике Татарстан в 2021 году [1].

Замеры на пунктах мониторинговых наблюдений	р.Волга с.Кзыл Байрак	р.Волга выше г. Зеленодольска	р.Волга г.Казань 1 км выше водозабора	р.Волга 4,7 км ниже г.Казани
количество превышений рыбохозяйственных ПДК за 2021 год				
- марганец	11	3	3	3
- железо	6	1	1	1
- фосфат ион	5	1	2	2
- БПК5	3	1	1	1
- фенол	2	-	2	-
- нитриты	-	1	1	1



Помимо гидрохимических показателей сочетание таких факторов как низкий уровень воды и высокая температура создают предпосылки для «локальных катастроф» на уровне ихтиоценозов, площадь «локальных катастроф» расширяется в связи с климатическими изменениями [3].

Для выращивания рыбы в УЗВ можно использовать воду из артезианских скважин или водопроводную воду, очищенную с помощью фильтров, применяемых в установках. Вид применяемого фильтра определяется в том числе и источником водоснабжения: вода из артезианских скважин зачастую требует очистки от железа, вода из озера – очистки от взвешенных частиц, речная вода - от нефтепродуктов и удобрений.

Результаты исследования ионного состава питьевой воды с октября 2021 по апрель 2022 г, размещенные на сайте мэрии Казани с целью описать качество питьевой воды в разных районах города, подтверждают, что водопроводная вода в городе в целом удовлетворяет требованиям отраслевого стандарта для рыбоводства, но отмечается повышенное содержание мышьяка (до 6 ПДК) и кобальта (в 61 раз) в питьевой воде в районах с водоснабжением из Волжского водозабора [4].

Таким образом, чтобы использование водопроводной воды не оказывало негативного влияния на рост рыбы в УЗВ, для поддержания гидрохимического состава, соответствующего отраслевым стандартам, в установках применяется система фильтрации. В фильтрах механической очистки вода отстаивается для удаления взвешенных частиц. Далее она фильтруется гидроциклонами или центрифугами с высокой пропускной способностью. Ионообменные умягчители способствуют очистке от солей жёсткости (например, к ним относятся кальций и магний). Для удаления фтора, нефтепродуктов и хлористых соединений применяются фильтры с активированным углём, они также улучшают запах и цветность воды. Использование в УЗВ аэраторов помогает устранить неприятный запах, фильтрует аммиак, фосфор, нитраты и нитриты. Различные формы железа и марганца могут быть нейтрализованы на станции безреагентного обезжелезивания и деманганации.

Рыбоводные хозяйства, использующие технологии УЗВ, являются наименее восприимчивыми к воздействию факторов загрязненной воды благодаря автономности систем и современным технологиям очистки вод. Минусами предприятий аквакультуры данного типа является высокая стоимость и относительно долгие сроки внедрения технологий.

## Источники

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2021 году [Электронный ресурс]. URL: [https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub\\_3288791.pdf](https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_3288791.pdf) (дата обращения: 27.02.2024).
2. Головина Н. А., Стрелков Ю. А., Воронин В. Н. Ихтиопатология // М. : Мир, 2003. 327 с.
3. Калайда М.Л., Шарафутдинов Р.Г. Современная гидрологическая характеристика Куйбышевского водохранилища как основа для развития водных биоресурсов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2023. № 25(1). С. 166-183.
4. Степанова Н. Ю., Емельянова А. В. Динамика содержания мышьяка и кобальта в питьевой воде города Казани // Химия и инженерная экология - XXII : Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной 90-летию кафедры общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ. Казань, 2022. – С. 258-262.

УДК 574.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ИЗ РАЦИОНА СПОРТСМЕНОВ- ХОККЕИСТОВ

Жаров Данил Николаевич<sup>1</sup>, Гордеева Мария Эдуардовна<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>gordeeva.me@kgeu.ru

Результативность команды в игровых видах спорта зависит от ряда показателей, в число которых входит как правильный рацион питания спортсменов, так и ряд показателей здоровья. Было выявлено, что для удовлетворения суточной нормы протеина необходимо обязательное употребление рыбы или рыбных продуктов. Наиболее подходящими рыбопродуктами для восполнения суточной нормы протеина являются изделия из лосося или тунца. В то же время в качестве одного из показателей здоровья возможно применение антиоксидантного статуса организма, который определяется на основе суммарной антиоксидантной активности. В работе исследуется суммарная антиоксидантная активность продуктов питания из сбалансированного рациона спортсмена-хоккеиста, которые являются экзогенными источниками

поступления питательных веществ и оценен вклад каждого в антиоксидантный статус организма.

**Ключевые слова:** суммарная антиоксидантная активность, рацион питания, лосось, тунец, спортсмен.

## **STUDY OF ANTIOXIDANT ACTIVITY OF FOOD FROM THE DIET OF HOCKEY ATHLETES**

Zharov Danil N.<sup>1</sup>, Gordeeva Maria E.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>gordeeva.me@kgeu.ru

The performance of the team in playing sports depends on a number of indicators, which include both the correct diet of athletes and a number of health indicators. It has been revealed that the mandatory consumption of fish or fish products is necessary to meet the daily protein intake. The most suitable fish products for replenishing the daily protein are salmon or tuna products. At the same time, as one of the health indicators, it is possible to use the antioxidant status of the body, which is determined on the basis of the total antioxidant activity. The work is studied the total antioxidant activity of foods from the balanced diet of a hockey athlete, which are exogenous sources of nutrient supply and assess the contribution of each to the antioxidant status of the body.

**Keywords:** total antioxidant activity, diet, salmon, tuna, sportsmen.

В командных видах спорта здоровье каждого спортсмена – это приоритетная задача тренера и медицинского работника. В качестве одного из показателей здоровья на сегодняшний день можно рассмотреть антиоксидантный статус организма, который отражает показатель антиоксидантной системы организма, т.е. определяет возможность ферментов, белков и витаминов подавлять негативное действие свободных радикалов на клеточном уровне. Поддерживать антиоксидантный статус в норме позволяет в том числе качественно и количественно сбалансированный рацион питания, поступление витаминов, микроэлементов и белков в организм [1].

Таким образом, каждому человеку необходимо следить за питанием для сохранения здоровья и долголетия, а спортсменам в приоритете, поскольку количество энергии, затрачиваемой в годовом тренировочном цикле значительно выше, а также количество стрессовых факторов увеличивается на игре. Если источником запаса энергии в организме являются углеводы, то белки способствуют накоплению мышечной массы

и восстановлению организма, соответственно, особый контроль за их потреблением должен быть обеспечен в восстановительном периоде, согласно федеральному стандарту спортивной подготовки по виду спорта «хоккей» [2]. Количество белков, являющихся источниками аминокислот, необходимых к употреблению спортсменам-хоккеистам составляет 15-20% от всего рациона.

Было рассчитано, что дневная норма протеинов составляет 150 г, которые могут быть составлены из следующих продуктов [3]:

- тунец 350 г – 82,25 г протеина;
- гречка 300 г – 45,5 г протеина;
- сыр 50 г – 12,5 г протеина;
- яйцо 1 шт. – 6 г протеина;
- молоко 150 мл – 5,1 г протеина.

При этом, следует отметить, что рыба и рыбные продукты (особенно лосось и тунец) дают максимальную суточную дозу протеина. В связи с этим, особый интерес вызывает исследование антиоксидантных свойств [4] данных продуктов для оценки экзогенного источника антиоксидантов для поддержания антиоксидантного статуса организма. Как известно, высокой антиоксидантной активностью обладают не только витамины (Е, А, С), но соединения пептидной природы. Это и доказано фактически: максимальная суммарная антиоксидантная активность была определена в мышечной ткани рыб, минимальная в молоке. Таким образом, потребление рыбы дает максимальный вклад (среди пищевых продуктов подобранного рациона) в поддержание антиоксидантного статуса организма в норме и препятствует возникновению различных видов заболеваний и позволяет лучше справляться с факторами стресса.

Необходимы дополнительные исследования по оценке антиоксидантного статуса организма после регулярного соблюдения суточного рациона – 2-недельного потребления лосося или тунца в дневное время суток. Данную оценку возможно провести, исследуя суммарную антиоксидантную активность биологической жидкости организма: сыворотки крови, мочи или слюны.

### **Источники**

1. Sarmadi B.N., Ismail A. Antioxidative peptides from food proteins: a review // Peptides. 2010. Vol. 31. P. 1949-1956.
2. Приказ об утверждении федерального стандарта спортивной подготовки по виду спорта «хоккей» № 997 от 16.11.2022. – М: Минспорт России. – 25 с.

3. Жаров Д.Н., Гордеева М.Э. Важность рыбы в рационе питания спортсменов-хоккеистов // Материалы докладов XXVII Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного дню энергетика и 55-летию КГЭУ. – Т.2, 2023. – С. 419-421

4. Наумова Н.Л. Современный взгляд на проблему исследования антиоксидантной активности пищевых продуктов // Вест. ЮУрГУ. 2014. Т. 2, № 1. С. 5-8

УДК 631.9

### **3D ПЕЧАТЬ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВКИ СОВМЕСТНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ РЫБЫ И РАСТЕНИЙ**

Зайцева Марина Владимировна<sup>1</sup>, Борисова Светлана Дмитриевна<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2</sup>svetlana-zag@bk.ru

В статье кратко представлены возможности 3D – печати в аквакультуре. Использование полученных конструкции предполагается как в обучающем процессе, так и при проведении различных экскурсионных мероприятий. Задача печати – повышение устойчивости аквакультуры, прибыльности, повышение наглядности рыбоводных и аквапонических установок при проведении мастер-классов, выездных экскурсий, профориентационных мероприятий.

**Ключевые слова:** аквапоника, рыба, рыбоводство, аквакультура, 3D печать.

### **3D PRINTING OF ELEMENTS OF FISH AND PLANT CO- CULTIVATION PLANT**

Zaitseva Marina V.<sup>1</sup>, Borisova Svetlana D.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2</sup>svetlana-zag@bk.ru

The article briefly presents the possibilities of 3D printing in aquaculture. The use of the obtained structures is assumed both in the training process and in the conduct of various career guidance and excursion activities. The task of printing is to increase the stability of aquaculutra, profitability, increase the visibility of fish and aquaponic installations during master classes, field tours.

**Keywords:** aquaponics, fish, fish farming, aquaculture.

Аквакультура является самым быстрорастущим сектором производства продуктов питания в мире. В отрасли происходят значительные изменения из-за ряда экологических, экономических и социальных проблем. За последние 50 лет применение науки и внедрение новых технологий в развитие аквакультуры способствовали ее быстрому развитию. С точки зрения видов, кормов для аквакультуры, производственных систем, болезней, продуктов, бизнес-структур и маркетинга аквакультура более диверсифицирована, чем большинство других секторов производства продуктов питания. Научно-технические достижения и инновации улучшили, расширили и принесли пользу почти всем аспектам аквакультуры, а также некоторым новаторским технологиям [1,2].

Одно из современных цифровых направлений в аквакультуре - 3D печать элементов циркуляционных рыбоводных установок. Это позволит использовать рыбоводные установки в обучающем процессе, демонстрировать технологические аспекты выращивания рыбы при проведении профориентационных мероприятий, дней открытых дверей в ВУЗе и т.д.

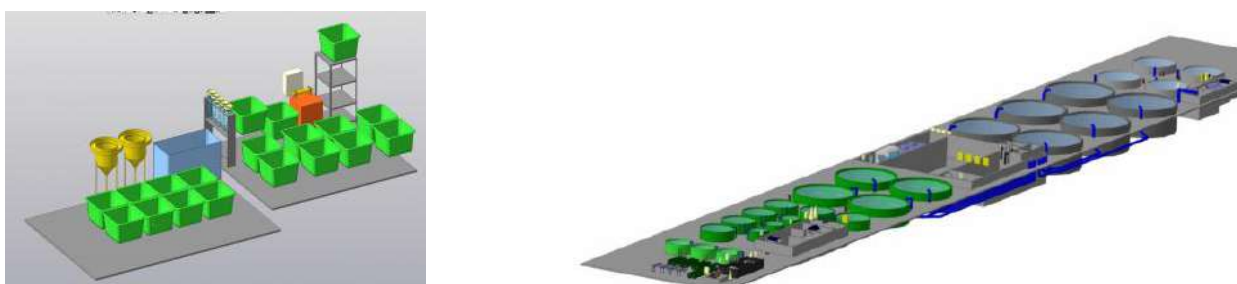


Рис.1. Варианты моделирования циркуляционных рыбоводных установок

В настоящее время все большую популярность приобретает 3D-биопринтер, использующийся для создания рыбы [3]. Он представляет собой специализированную машину, которая может производить ткани и органы с использованием живых клеток. Принтер накладывает слои клеток так же, как традиционный 3D-принтер накладывает слои пластика, пока не будет создан полностью сформированный кусок ткани. В отличие от традиционных 3D-принтеров, в которых используется пластик или металл, 3D-биопринтеры используют ряд биоматериалов, включая белки, полисахариды и другие органические соединения, для создания живых тканей. Этот процесс создания живых тканей известен как биопечать и производит революцию в пищевых технологиях, поскольку открывает

многообещающие возможности для разработки персонализированных стейков или рыбы.

Потенциальные применения 3D-печатной рыбы многочисленны. Его можно использовать для создания более устойчивых вариантов морепродуктов для потребителей, особенно в районах, где рыба, выловленная в дикой природе, недоступна. Технология 3D-биопечати также может создавать персонализированные стейки или рыбу, позволяя потребителям настраивать еду в соответствии со своими предпочтениями [3].

Внедрение технологии 3D-биопечати в индустрии морепродуктов также имеет последствия для окружающей среды. Чрезмерный вылов рыбы и неустойчивая практика аквакультуры привели к значительному ущербу окружающей среде и истощению популяций рыб. Благодаря 3D-биопечати рыбу можно выращивать в контролируемой среде с минимальным воздействием на окружающую среду.

### **Источники**

1. Грозеску, Ю. Н. Инновационные биотехнологии для повышения эффективности промышленного осетроводства / Ю. Н. Грозеску, А. А. Бахарева, В. М. Распопов // Вестник АГТУ. – Астрахань, 2012. – №1. – С. 154-158.

2. Божко, А. П. Способы управления элементами рыбохозяйственных системам и рыбохозяйственными процессами / А. П. Божко, О. А. Погожев, А. В. Мельников // Вестник Астраханского государственного технического университета, серия: рыбное хозяйство. – Астрахань. 2018. – №1. – С. 84-89.

3. Алферьев, Д. А. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве / Д. А. Алферьев // Агробиотехника. Вологда. 2018. №4, Т.1. – С. 5.

## **ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОЙ РЕАКЦИИ СРЕДЫ, ИЛИ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ВОДОЕМА КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА Р.НЫСЕ У С.АБДИ ПО МАТЕРИАЛАМ 2022 Г**

Калайда Марина Львовна<sup>1</sup>, Дмитрий Вячеславович Пенкин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> kalayda4@mail.ru

В статье проведен результат исследования динамики изменения активной реакции среды, или водородного показателя водоема комплексного назначения на р.Нысе у с.Абди в контрольных точках с учетом размещения садковой рыбководной линии и имеющихся родников. Показаны изменения рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) по месяцам, глубине и на различном расстоянии от линии садков.

**Ключевые слова:** рН, ОВП, садковая линия, водоемы комплексного назначения.

## **DYNAMICS OF CHANGES IN THE ACTIVE REACTION OF THE MEDIUM, OR THE HYDROGEN INDEX OF RESERVOIRS OF COMPLEX PURPOSE ON THE NYSA RIVER NEAR THE VILLAGE OF ABDI BASED ON THE MATERIALS OF 2022**

Kalaida Marina L.<sup>1</sup>, Penkin Dmitry V.<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> kalayda4@mail.ru

The article presents the result of a study of the dynamics of changes in the active reaction of the medium, or the hydrogen index of a reservoir of complex purpose on the river.Nys at the village of Abdi at the control points, taking into account the placement of the fish hatchery line and the available springs. Changes in pH and redox potential (ORP) by month, depth and at different distances from the cage line are shown.

**Keywords:** pH, ORP, garden line, reservoirs of complex purpose.

Считается, что для нормального роста и развития большинства видов рыб наилучшей считается нейтральная или слабощелочная реакция воды [1], а окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) является



критическим фактором в аквакультуре, поскольку он указывает на общее состояние воды для рыб и водных организмов [2].

Целью исследования является изучение динамики изменения активной реакции среды, или водородного показателя в поверхностном слое воды на разных глубинах в контрольных точках с учетом размещения садковой рыбоводной линии и имеющихся родников [3].

Контроль проводился на 10 станциях, отмеченных на рис.1.

Гидрохимические показатели определялись с помощью портативного многопараметрического прибора [4].

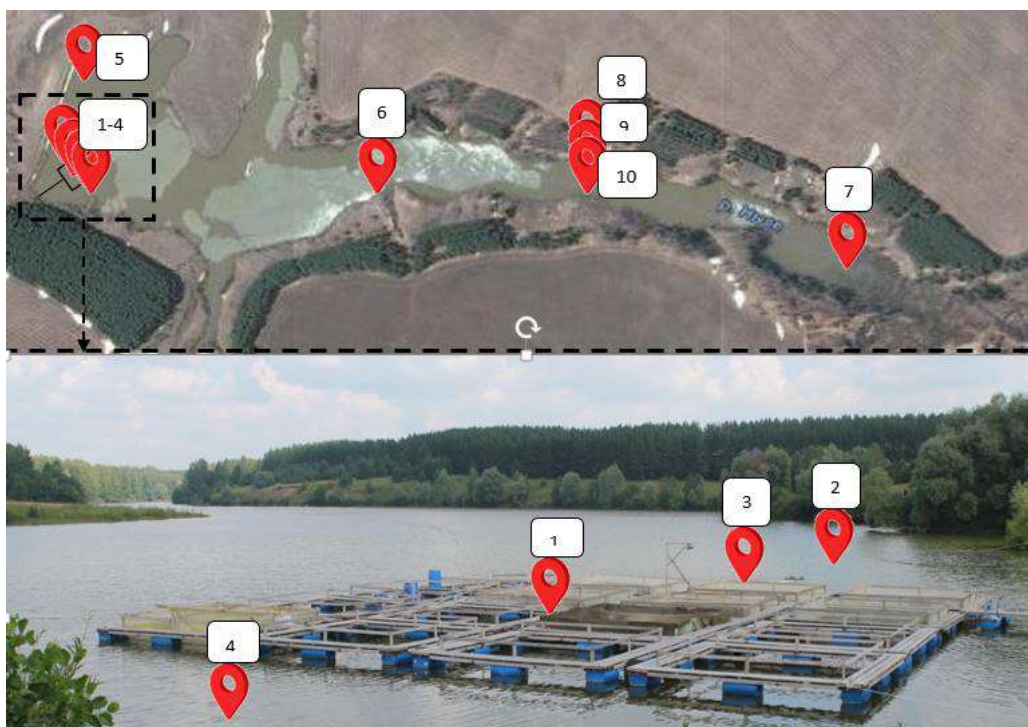


Рис. 1 Станция отбора проб на водоеме комплексного назначения р.Нысе у с.Абди

В августе рН в поверхностном слое превышал нормативные показатели 7-8 по ОСТ 15-247-81 и варьировал от 8,4 до 9,1, наименьшие значения отмечались между садков. С увеличением глубины наблюдалось снижение рН до 7,76-7,95 на всех станциях кроме садковой линии. На глубине 2 м под садковой линией рН составлял 8,6. В осенний период вместе с перемешиванием слоев воды выравнивались и показатели рН. В среднем по водоему он составлял 8,12-8,19.

В августе ОВП варьировал от 55 мВ до 151,5 мВ, наименьшие значения отмечались в верхней точке пруда (55 мВ). Под садковой линией ОВП был ниже, чем в поверхностном слое и составил 89,4 мВ и 124,8 мВ соответственно. В осенний период вместе с перемешиванием слоев воды

выровнялись и показатели ОВП, значения варьировали от 88,9 мВ до 164,4мВ. В среднем по водоему он составлял 139,7 мВ.

Соленость воды в августе составляла 0,21-0,23‰, в сентябре – 0,26-0,27‰, в октябре – 0,30-0,32‰ на всех станциях кроме ст.7, в месте впадения реки Нысе в водоем в октябре соленость, как и минерализация, была значительно выше и составляла 0,49‰.

Очевидно, что наличие или отсутствие кислорода и, как следствие, изменение окислительно-восстановительного потенциала определяют гидрохимический режим водоема.

Как видно из данных исследований, в зоне садковой линии работа аэратора оказывает положительное влияние на гидрохимические показатели качества воды.

### **Источники**

1. Ельцов Т.В., Донец В. Показатели качества воды при разведении рыбы и требования, предъявляемые к ним // Актуальные проблемы сельскохозяйственных наук в России и за рубежом. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Новосибирск, 2015. С. 39.

2. Атлас Республики Татарстан. М.: Производственное картосоставительское объединение «Картография», 2005. 119 с.

3. Калайда М.Л. Биологические основы рыбоводства. Краткая теория и практикум: учеб. Пособие. Санкт-Петербург: ПроспектНауки, 2014. 224 с.

4. Пенкин Д.В., Хамитова М.Ф. Особенности кислородного режима пруда с. Абди (р. Нысе) в Тюлячинском районе Республики Татарстан матер // Междунар. молод. науч. конф. Тинчуринские чтения. Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. Т. 2. С. 436-439.

## ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ИХТИОФАУНЫ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА С ПОЗИЦИЙ ВОЗМОЖНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВ В АКВАКУЛЬТУРЕ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Калайда Марина Львовна<sup>1</sup>, Удачин Сергей Андреевич<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>udachin.s1989@gmail.com

В статье рассмотрено изменение ихтиофауны Куйбышевского водохранилища с точки зрения приоритетных видов для производства кормов в аквакультуре Среднего Поволжья

**Ключевые слова:** аквакультура, Среднее Поволжье, Куйбышевское водохранилище, производство кормов.

## CHANGES IN THE COMPOSITION OF ICHTHYOFAUNA OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR FROM THE POSITION OF POSSIBLE USE AS RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF FEED IN THE AQUACULTURE OF THE MIDDLE VOLGA REGION

Kalaida Marina L. <sup>1</sup>, Udachin Sergey A. <sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>udachin.s1989@gmail.com

The article examines changes in the ichthyofauna of the Kuibyshev reservoir from the point of view of priority species for feed production in aquaculture in the Middle Volga region.

**Keywords:** aquaculture, Middle Volga region, Kuibyshev reservoir, feed production.

До образования Куйбышевского водохранилища в бассейне реки Волга встречалось более 40 видов рыб. В районе образования будущего Куйбышевского водохранилища на территории Средней Волги высокой численности достигали такие виды рыб, как лещ, щука, синец, плотва, язь, окунь и др. Из ценных промысловых видов в достаточном объеме встречались стерлядь и судак. Доля сазана в промысловых уловах была незначительной [1, 2].

В период заполнения Куйбышевского водохранилища и последующие годы его существования происходит увеличение антропогенной нагрузки на водоем, что в свою очередь негативно сказывается на функционировании экосистемы. Кормовая база рыб и сама ихтиофауна значительно меняются: состояние запасов не только ценных, но и других видов рыб снижается. Так, например, начиная с 1985 по 1999 гг. снижаются и находятся на низком уровне запасы леща. В первые годы существования водохранилища снижается запас судака. Стерлядь, как наиболее ценный промысловый обитатель Волги, после образования Куйбышевского водохранилища утрачивает возможность миграции на нерест из нижерасположенных участков в речной системе [3].

Современная ихтиофауна Среднего Поволжья представлена 9-ю фаунистическими комплексами. Основу составляют два фаунистических комплекса – бореальный равнинный и понто-каспийский пресноводный, представленные 26 видами рыб. Амфибореальный (верхнетретичный) комплекс представлен 9 видами рыб. Понто-каспийский морской комплекс представлен 6 видами, бореальный предгорный – 5 видами, китайский равнинный – 3 видами. Один представитель в ихтиофауне Среднего Поволжья зарегистрирован из сино-индийского равнинного комплекса – головешка-ротан [4].

К основным видам рыб Куйбышевского водохранилища, осваиваемым промыслом, в настоящее время можно отнести: лещ, судак, сазан, щука, сом – виды, на которые устанавливается общий допустимый улов (ОДУ) и виды рекомендованные к вылову (РВ): тюлька, плотва, густера, синец, чехонь, серебряный карась, язь, жерех, белоглазка, белый толстолобик налим, окунь и берш [2]. В центральной части Куйбышевского водохранилища в период с 2014–2015 гг доминирующими видами по биомассе являлись лещ (16 %), сазан (23 %), плотва (13 %) и густера (15 %) [5].

В начале XXI столетия отмечалась четкая тенденция увеличения совокупной доли малоценных и сорных видов рыб, вылавливаемых в Куйбышевском водохранилище [6], в то время как освоение промыслом мало востребованных видов рыб снижается. Так в 2009 г. поймано всего 58,3% от общего улова по массе и 38% от ОДУ и РВ этих видов [7].

Однако последние годы совокупная доля ценных видов рыб перестает снижаться и даже вырастает: квоты на вылов в 2024 г по сравнению с 2023 году выросли в среднем на 25%, при этом данный рост вызван увеличением квотирования рекомендованных к вылову рыб, в то

время, как квоты на виды рыб, общий допустимый улов которых устанавливается, остался практически без изменений.

К мало востребованным видам рыб на сегодняшний день относятся густера, синец, уклейка, тюлька, плотва и язь. Еще менее востребованным объектом водных биоресурсов является уклейка. Не в допустимом объеме вылавливаются и такие виды как густера и синец.

### Источники

1. Лукин А.В. Закономерности формирования фауны Куйбышевского водохранилища. Казань, КГУ, 1977. С. 162

2. Шакирова Ф.М., Анохина О.К., Смирнов А.А., Валиева Г.Д. Динамика запасов и биологические показатели основных промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища за период 2001–2021 гг., их освоение промыслом // ВОПРОСЫ РЫБОЛОВСТВА, 2023. Том 24. №3. С. 77–95

3. Гончаренко К.С., Говоркова Л.К., Анохина О.К., Говорков В.И. Условия существования рыб в Куйбышевском водохранилище и характеристика их запасов // Сб. научн. тр. / Гидробиологические и ихтиологические исследования водоемов Среднего Поволжья. СПб. 2013. Вып. 13. С. 6-21

4. Государственный доклад состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2022 году. [Электронный ресурс]: [https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub\\_3770309.pdf](https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_3770309.pdf) (дата обращения: 21.03.2024).

5. Удачин С.А. / Видовой состав ихтиофауны Волжско-Камского природного биосферного заповедника (Саралинский участок, Республика Татарстан) // Материалы докладов XI Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» / Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т. 2. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, С. 2016. – 227

6. Калайда М.Л., Шарафутдинов Р. Г. Особенности изменений водных биоресурсов Куйбышевского водохранилища в современных климатических и гидрологических условиях // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023. Т.25. №3. С. 150-167.

7. Анохина О.К., Гончаренко К.С., Говоркова Л.К. Промыслово-биологическая характеристика, состояние промысловых запасов и допустимые уловы рыб в Куйбышевском водохранилище // Сб. научн. тр. /

УДК 639.3

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ КОНКУРСА НА ПОЛЬЗОВАНИЕ РЫБОЛОВНЫМ УЧАСТКОМ

Калайда Марина Львовна<sup>1</sup>, Шарафутдинов Рамиль Гумерович<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 процедура организации и проведения конкурса на заключение договора пользования рыболовным участком в Республике Татарстан.

**Ключевые слова:** промышленное рыболовство, конкурс на право заключения договора пользования рыболовным участком, рыболовный участок.

## ORGANIZATION AND CONDUCT OF THE COMPETITION FOR USE OF FISHING AREAS

Kalaida M.L.<sup>1</sup>, Sharafutdinov R.G.<sup>2</sup>

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

<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 procedure for organizing and conducting a competition for concluding an agreement for the use of a fishing area in the Republic of Tatarstan.

**Keywords:** industrial fishing, competition for the right to conclude an agreement for the use of a fishing area, fishing area.

В последний период в условиях изменения климатических характеристик и гидрологического режима водоемов Среднего Поволжья особое значение придается работам по формированию ихтиоценоза Куйбышевского водохранилища [1, 2]. Проведенные исследования рыбопродуктивности Куйбышевского водохранилища в пределах Республики Татарстан позволили сделать вывод об увеличении на всех рыбопромысловых участках рыбопродуктивности. Самая высокая рыбопродуктивность по результатам фактического вылова рыбы

отмечается на Тетюшском и Спасском участках. Средняя за последние годы рыбопродуктивность составила на Тетюшском и Спасском участках – 31,53 кг/га, Камско-Устьинском – 11,89 кг/га, Лаишевском и Алексеевском – 8,11 кг/га, Рыбно-Слободском – 7,19 кг/га, Мамадышском и Елабужском участках – 18,15 кг/га[1, 2]. В связи с этим такие организационные мероприятия как получение в пользование рыболовного участка рыбодобытчиками становятся особо важными для эффективного природопользования.

Процедура получения в пользование рыболовного участка для промышленного рыболовства регламентируется системой законов, определяющих правила и порядок получения рыболовного участка в пользование. Договор пользования рыболовным участком заключается по результатам конкурса на право заключения такого договора (статья 33.3 Федерального закона №166 "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов) [3]. Порядок проведения конкурса определяется Правительством Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 14.04.2008 № 264). По итогам конкурса заключается договор пользования участком на срок до 20 лет[4]. Конкурс проводится в отношении рыболовных участков, предусмотренных перечнем рыболовных участков, утверждаемым исполнительным органом соответствующего субъекта Российской Федерации[5].

В конкурсе на предоставлении рыболовного участка для осуществления промышленного рыболовства могут принимать участие юридические лица и индивидуальные предприниматели. Особенностью конкурсной формы является тот аспект, что получатель прав в качестве лучших условий может представить не только сумму, выплачиваемую им за пользование, но и другие условия его пользования.

При проведении конкурса используются принципы открытости, прозрачности, системности в соответствии с регламентом проведения государственных торгов.

Конкурсная комиссия оценивает заявки по следующим критериям:

- Размере платы который заявитель готов перечислить в соответствующий бюджет;
- количество работников, которые работают у заявителя и зарегистрированы в муниципальном образовании где находится лот (в зачет идут сотрудники которые трудоустроены у заявителя не меньше 12 месяцев);
- количество выпускаемой продукции на собственном либо арендованном производстве заявителя, за последние 4 года;

- сведения об освоении квот добычи рыбы предоставленных заявителю за последние 4 года (при наличии);

При проведении конкурса устанавливаются следующие обязательные требования к заявителям:

- а) не должен быть банкротом и не проводится таковой процедуры;
- б) деятельность не приостановлена;
- в) должна отсутствовать задолженность по обязательным платежам государству в размере более 25 процентов балансовой стоимости активов;
- г) не расторгался договор пользования рыболовным участком 2 годы предшествующие конкурсу;
- д) не находится под контролем иностранного инвестора.

Комиссии оценивает и сопоставляет заявки в 10 дневной срок, присваивает каждой заявке порядковый номер от большего количества баллов к меньшему.

В случае равенства баллов, приоритет получает заявитель который ранее осуществлял промышленный лов, в случае если оба заявителя являются таковыми тот 1-й номер присваивается заявке поданной ранее.

Победителем конкурса признается участник конкурса, который предложил лучшие условия заключения договора и заявке которого присвоен 1-й номер.



Рис.1. Участки промышленного рыболовства в Республике Татарстан

В Республике Татарстан органом государственной власти, уполномоченным на проведение конкурса является Госкомитет по биоресурсам. Промышленное рыболовство осуществляется на 13 участках,



расположенными на Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах Республики Татарстан, сроком действия до 2025 года, общей площадью 252 тысячи 390 гектар (см. рисунок). Укрупнение и формирование участков в границах одного муниципального образования было проведено в 2015 году и прошли процедуру рассмотрения и согласования с представителями всех заинтересованных муниципальных образований.

В 2019 году в связи с принятыми изменениями Федерального закона о рыболовстве и новым порядком определения границ Государственным комитетом проведена процедура переоформления всех действующих договоров. Границы участков остались без изменений, утверждены соответствующей комиссией и согласованы с Федеральным агентством.

### **Источники**

1. Калайда М.Л., Шарафутдинов Р. Г. Особенности изменений водных биоресурсов Куйбышевского водохранилища в современных климатических и гидрологических условиях // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023. Т.25. № 3. С. 150-167. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-3-150-167.

2. Калайда М.Л., Шарафутдинов Р.Г., Удачин С.А., Калайда А.А. / Перспективы использования водных биоресурсов Куйбышевского водохранилища в кормах для ценных видов рыб // Материалы Международной научно-практической конференции «Будущее аквакультуры. Прогрессивные биотехнологии» 2 февраля 2024 г. на базе учебного комплекса № 1 ФГБОУ ВО Вавиловский университет

3. Федеральный закон от 20.12.2004 N 166-ФЗ (ред. от 29.12.2022) "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов" (с изм. и доп., вступ. в силу с 30.03.2023)// СПС КонсультантПлюс.

4.Постановление Правительства РФ от 14.04.2008 N 264 (ред. от 01.08.2022) "О проведении конкурса на право заключения договора пользования рыболовным участком для осуществления промышленного рыболовства и заключения такого договора"// СПС КонсультантПлюс.

5.Постановление Правительства РФ от 14.06.2018 N 681 (ред. от 28.10.2020) "Об утверждении Правил определения границ рыболовных участков"// СПС КонсультантПлюс.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РУЧНОГО КОРМЛЕНИЯ ДЛЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

Кашина Карина Алексеевна<sup>1</sup>, Калайда Андрей Андреевич<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>karina4kashina@mail.ru, <sup>2</sup>kaankgeu@mail.ru

В данной статье показана возможность применения методики ручного кормления для осетровых рыб с нарушением кормового поведения. Показан положительный эффект ручного кормления на весовую.

**Ключевые слова:** аквакультура, кормление, осетровые рыбы.

## STUDY ON THE APPLICATION OF HAND FEEDING TECHNIQUES FOR STURGEON FISH

Kashina Karina A.<sup>1</sup>, Kalaida Andrey A.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>karina4kashina@mail.ru, <sup>2</sup>kaankgeu@mail.ru

This article shows the possibility of using hand feeding techniques for sturgeon fish with feeding behavior disorders. The positive effect of hand feeding on the weight dynamics has been shown.

**Keywords:** aquaculture, feeding, sturgeon fish.

Кормление – один из ключевых факторов, влияющих на благополучие и здоровье объектов в условиях индустриальной аквакультуры [1]. К современным кормам для наиболее ценных видов рыб предъявляются более строгие требования в сравнении с кормами других сельскохозяйственных животных. Это отражается и в большей стоимости. Неоптимальный состав кормов может нанести непоправимый вред и привести огромным убыткам. Так, например, несбалансированный по незаменимым аминокислотам состав корма, или их избыток в питании могут приводить к жировому перерождению печени [2].

Вопрос долгосрочного сохранения здоровья особенно актуален для производителей осетровых рыб в аквакультуре. Долгий период созревания, сравнительно низкий темп набора массы, технологии прижизненного получения половых продуктов и статус черной икры как одного из

наиболее дорогих деликатесных продуктов в мире (золотая икра белуги признана самым дорогим продуктом питания) [3], являются подтверждением этого факта. Кроме разнообразных инфекционных и алиментарных заболеваний, описанных для осетровых рыб [4], встречаются и особи с отклонениями пищевого поведения, что приводит к частичному или полному прекращению питания, приводящему к постепенной потере массы и, позже, к смерти.

Особь русского осетра с подобным отклонением была выявлена в стаде осетровых рыб учебно-исследовательской лаборатории «Искусственного воспроизводства рыб и аквакультуры» кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» КГЭУ. Был проведен эксперимент по ручному кормлению данной особи. На протяжении 3 месяцев, с 04.12.2023 особь получала дополнительное питание 5 дней в неделю. Велся мониторинг веса и поведения. Данные по изменению весовых характеристик особи приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Весовые характеристики исследуемой особи

Дата	27.09.2022	27.03.2023	05.12.2023	29.12.2023	04.03.2024
Масса, г	1160	1330	1100	1100	1250

Из данных в таблице 1 видно, что данная особь в период 2022-2023 года активно набирала вес, но, по неизвестным нам причинам, в 2023 году пищевое поведение осетра изменилось, он перешел к поиску пищи вдоль бортов и на поверхности воды. Следствием этого стала потеря массы в период с марта по декабрь 2023 года. Ручное кормление позволило сначала остановить потерю массы (декабрь 2023), а в 2024 году привело к восстановлению положительной весовой динамики. Необходимо отметить, что исследуемая особь начала не только активно реагировать на характерную позу человека ожидающего её для кормления, но и проявлять нормальное кормовое поведение.

Ручное кормление карпов кои давно применяется в рекреационных целях привлекает интерес и приносит удовольствие как детям, так и взрослым. Карпы в условиях отсутствия стрессовых факторов и регулярном кормлении быстро приучаются не бояться человека, подплывать и брать предложенный корм с рук. Как показано на рисунке 1, особь русского осетра тоже возможно приучить к ручному кормлению. Отметим, что в процессе приручения интерес к человеку и руке с кормом

начала проявлять еще одна особь, которую не привлекали к кормлению с руки, но позволяли брать питание, если она приплывала.



Рис.1. Ручное кормление карпа кои и русского осетра.

Наше исследование показало, что ручное кормление осетровых рыб не только позволяет добиться прекращения потери массы из-за нарушения пищевого поведения, но и демонстрирует возможное использование такой практики в рекреационных целях и популяризационной работе по привлечению внимания к сохранению осетровых видов рыб.

### **Источники**

1. Пономарев, С.В. Индустриальная аквакультура. Учебник./ С.В. Пономарев, Ю.Н., Грозеску, А.А. Бахарева - Астрахань, 2006. 312 с.
2. Головина, Н. А. Ихтиопатология / Н.А. Головина. М.: Мир, 2007. 448 с.
3. From caviar to truffles: These are the 10 most expensive foods in the world [Электронный ресурс]. <https://www.usatoday.com/story/life/food-dining/2023/07/07/most-expensive-food-in-the-world/70299243007/> (дата обращения: 12.02.24).

4. Казарникова, А.В., Шестаковская Е.В. Заболевания осетровых рыб при искусственном воспроизводстве и товарном выращивании. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2005. 58 с.

УДК 639.31

## АКВАПОНИКА КАК УСТОЙЧИВАЯ СИСТЕМА ВЫРАЩИВАНИЯ КОМНАТНОГО РАСТЕНИЯ *SPATHIPHYLLUM*

Кибякова Вероника Петровна<sup>1</sup>, Борисова Светлана Дмитриевна<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>veronichka\_stepanova\_01@mail.ru, <sup>2</sup>svetlana-zag@bk.ru

В данной статье рассматриваются особенности комнатного растения *Spathiphyllum*. Представлен результат экспериментального выращивания комнатного растения спатириллум в аквапонической установке кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» КГЭУ. Проведен анализ скоростей роста спатириллума в аквапонике при его пересадке из земли и из другой аквапонической системы.

**Ключевые слова:** аквапоника, комнатные растения, спатириллум, рост растений.

## AQUAPONICS AS A SUSTAINABLE SYSTEM FOR GROWING A HOUSEPLANT *SPATHIPHYLLUM*

Kibyakova Veronika P.<sup>1</sup>, Borisova Svetlana D.<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>veronichka\_stepanova\_01@mail.ru, <sup>2</sup>svetlana-zag@bk.ru

This article discusses the features of the houseplant *Spathiphyllum*. The result of experimental cultivation of a houseplant *spathiphyllum* in an aquaponic installation of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture of the KGEU is presented. The analysis of the growth rates of *spathiphyllum* in aquaponics during its transplantation from the ground and from another aquaponic system was carried out.

**Keywords:** aquaponics, indoor plants, *spathiphyllum*, plant growth.

В мире стремительного развития технологий и поиска экологически чистых принципов выращивания растений, аквапоника становится ключевым направлением, объединяя в себе гидропонику и аквакультуру. Однако, кроме промышленных и коммерческих масштабов, аквапоника

находит свое место и в домашних интерьерах, где комнатные растения становятся не только элементом уюта, но и зеленым участником экосистемы.

Аквапоника - это инновационная система сельского хозяйства, которая объединяет методы гидропоники (выращивания растений без почвы) и аквакультуры (разведения рыб). В такой системе рыбы предоставляют питательные вещества для растений, а растения, в свою очередь, чистят воду для рыб, создавая устойчивую экосистему. Одной из ключевых особенностей аквапоники является отсутствие необходимости в использовании химических удобрений, а также то, что она дает возможность сократить сброс сточных вод при разведении рыбы [1, 2, 3].

Перспективными растениями при выращивании в аквапонической системе являются пряные растения, декоративные и комнатные растения [4]. В домашней аквапонике широко используются различные комнатные растения, такие как фикус, папоротники, спатифиллум, сансевиерия и другие. Их специфические адаптивные особенности к условиям системы аквапоники делают их ценными объектами для исследований.

Спатифиллум (*Spathiphyllum*) представляет собой род растений из семейства Ароидные (*Araceae*), часто используемый как комнатное растение, обладающее потенциалом для успешного выращивания в условиях аквапоники. Спатифиллумы благодаря своей способности расти в водной среде, приспособляются к условиям аквапоники. В зависимости от разновидности, спатифиллум может иметь высоту от 12 до 15 сантиметров до 1,5 метра. Идеальная температура воздуха для роста и цветения этого растения составляет около +22–25 °С. Здоровое растение способно хорошо переносить как небольшие похолодания до +16 °С, так и достаточно высокие температуры [5]. Это растение является отличным очистителем воздуха, обогащая его кислородом и уменьшая концентрацию вредных веществ. Наличие в доме 4 – 5 кустиков этого удивительного цветка увеличивает содержание ионов кислорода в десятки раз, что полезно для всех живущих в доме [5].

На кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» КГЭУ нами проведен эксперимент по исследованию скоростей роста комнатного растения спатифиллум при пересадке из различных условий в систему аквапоники. Для этого было выбрано 12 деток спатифиллума (Рис.1): 6 из них были пересажены из грунта в аквапонику, 6 - из аквапоники в аквапонику.

Эксперименты по выращиванию спатифиллума в модельной экспериментальной аквапонической установке кафедры «Водные

биоресурсы и аквакультура» Казанского государственного энергетического университета проводились в течение 60 суток при постоянной температуре воздуха в помещении 24°C, влажности 83%, при освещении фитолампами мощностью 110 Ватт 12 час в сутки. Выращивание спатифиллума проводилось на метаболитах клариевых сомов (*Clarias gariepinus*) массой 800–900 г при плотности посадки 30 кг/м<sup>3</sup>. В течение эксперимента проводились регулярные измерения высоты растения, а также осуществлялся анализ общего состояния растений.

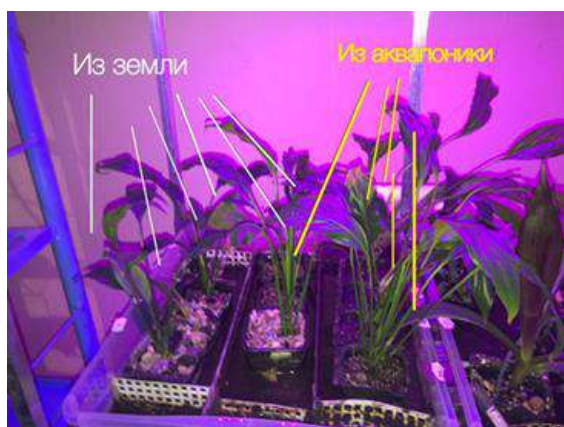


Рис.1. Растения в начале эксперимента



Рис.2. Растения в конце эксперимента

Скорости роста деток спатифиллума, пересаженных из разных условий представлены на Рис.3

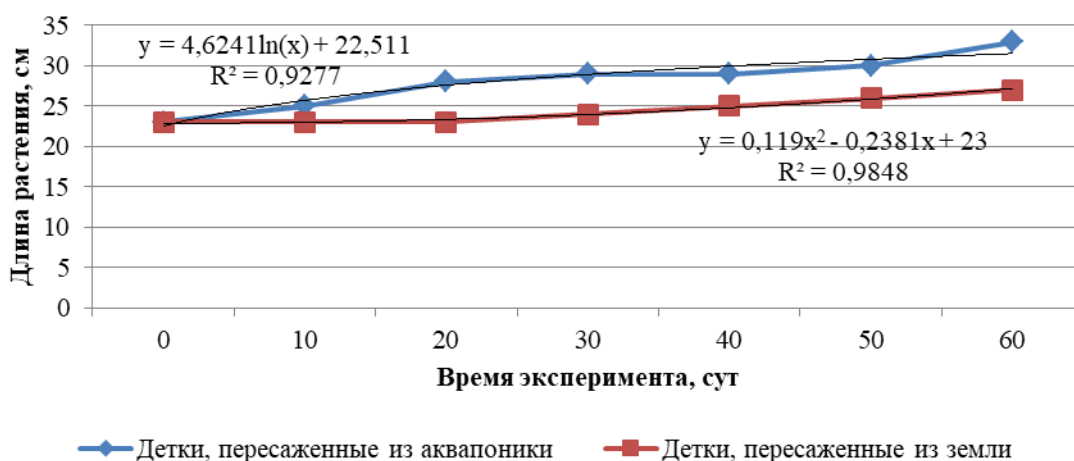


Рис. 3 Результаты экспериментального выращивания спатифиллума в аквапонике

Таким образом, в аквапонике спатифиллум демонстрирует эффективный обмен питательными веществами с водой, что способствует его активному росту и развитию, выполняя при этом роль биологического

фильтра, поглощая растворенные вещества из воды, и роль механического фильтра, задерживая на корнях взвешенные вещества.

Результаты эксперимента по выращиванию спатириллума из различных сред, представленные на рис.3 позволяют описать скорость роста спатириллума из аквапоники уравнением:  $y = 4,6241\ln(x) + 22,511$ ,  $R^2 = 0,9277$ . Скорость роста спатириллума из земли отражается в следующем уравнении:  $y = 0,119x^2 - 0,2381x + 23$ ,  $R^2 = 0,9848$ .

Таким образом, детки комнатного растения спатириллум, выращенные в аквапонике, имеют лучший рост и состояние по сравнению с другой группой деток, выращенных в земле. Визуальная оценка общего состояния растения спатириллум показала, что пересадка *Spathiphyllum* из грунта в систему аквапоники стимулирует его рост и способствует улучшению общего состояния.

### Источники

1. Хопсон Р. «Аквапоника: как создать устойчивую систему для выращивания рыбы и растений» - Москва: Издательство «Агропресс», 2017. – 32-32 с.
2. Калайда М.Л., Борисова С.Д. Использование аквапоники 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. 100-103.
3. 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>
4. Щербинин, Ю. В. Аквапоника — технология сельского хозяйства будущего: сб. информ. материалов / Ю.В. Щербинин. — М.: ИКЦ АПК, 2015. – 46 с.
5. Муратова Н.С. «*Spathiphyllum*: уход в домашних условиях». - Москва: Издательство «Книга», 2018.



## СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВОДООХРАННОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В РОССИИ И ТУРЦИИ

Кожеватова Наталья Александровна<sup>1</sup>, Калайда Андрей Андреевич<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>natalyakozhevatoва93@gmail.com, <sup>2</sup>kaankgeu@mail.ru

В данной статье сопоставлены структуры и принципы формирования законов и постановлений государственного уровня, направленных на охрану водных ресурсов и регламентирующих водопользование.

**Ключевые слова:** законодательство, охрана водных ресурсов, качество воды, Турция.

## COMPARISON OF THE STRUCTURE OF WATER PROTECTION LEGISLATION IN RUSSIA AND TURKEY

Kozhevatoва Natalya A.<sup>1</sup>, Kalaida Andrey A.<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> FGBOU VO "KSEU", Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>natalyakozhevatoва93@gmail.com, <sup>2</sup>2kaankgeu@mail.ru

This article compares the structures and principles of the formation of laws and regulations at the state level aimed at protecting water resources and regulating water use.

**Keywords:** legislation, water protection, water quality, Türkiye.

В этой работе мы сравнили принятые на государственном уровне нормативные акты регламентирующие качество воды в Российской Федерации и Турции. Как видно из данных, приведенных в таблице 1 при сопоставимых населении и среднему объему использования, общие ресурсы пресной воды на душу населения в России превосходят аналогичные для Турции на порядок [1]. Также можно отметить значительные различия по основным целям водопользования. Сектором, ответственным за большую часть потребленной воды в России является промышленность, тогда как для Турции это сельское хозяйство. Объемы бытового потребления в странах сопоставимы.

Водная политика и управление водными ресурсами Турции отражены в различных законах и постановлениях и подчиняются целому ряду национальных министерств и исполнительных администраций [2].

Таблица 1

Ресурсы пресной воды и их использование в РФ и Турции по данным Росстата [3].

Страна	Ресурсы пресной воды в среднем на душу населения, м <sup>3</sup>	Население, млн. Человек	Объем среднегодового использования пресной воды, млрд. м <sup>3</sup>	Структура использования пресной воды, процентов		
				сельское хозяйство	промышленность	бытовое потребление
Россия	30008	143,4	52,2	17	63	20
Турция	3071	84,78	40,1	74	11	15

Положения, касающиеся водопользования, управления и локализации, можно найти почти в 100 различных законах (актах), подзаконных актах, декретах и т.д. Однако существуют практические трудности и противоречия в реализации и правоприменении законодательства, связанного с водой.

Основным нормативным актом, регламентирующим качество внутренних поверхностных вод в Турции является «Закон о контроле загрязнения воды» от 4 сентября 1988 г [4]. В этом документе описаны задачи, основные понятия, принципы, указана необходимость формирования квот на вылов рыбы, категории особо охраняемых природных зон, регламент при сбросе сточных вод, а также приведена классификация качества вод в зависимости от содержания в ней различных загрязняющих веществ, радиационных и бактериологических свойств. Водоему, в соответствии с этим актом присваивается одна из четырех категорий качества от «высокое качество», до «сильно загрязненная». Указаны 43 регулируемых показателя, разделенных на 4 группы: физические и химико-неорганические параметры, органические параметры, неорганические загрязнители, бактериологические параметры. В перечне неорганических загрязнителей также указана радиационная активность воды (альфа и бета активность). Есть также целый ряд таблиц с измеряемыми показателями для стоков предприятий различных отраслей. На основании категории качества вод приведены возможные варианты использования вод трех высших категорий. Для четвертой категории возможных вариантов использования не приведено. В документе указано, что качество питьевой воды регламентируется отдельным стандартом.

В России нормирование качества вод ведется в двух направлениях: санитарное качество вод регламентируется Гигиеническими нормативами

(ГН 2.1.5.1315-03); рыбохозяйственные нормативы регламентируются «Правилами охраны поверхностных вод» и «Порядком организации разработки и утверждения ПДК и ОБУВ загрязняющих веществ в воде рыбохозяйственных водных объектов» [5]. По состоянию на 2003 год в России были установлены ПДК для более чем 1600 показателей для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения и более 1050 для [6]. В более поздних редакциях нормативных актов эти перечни были расширены.

Тот факт, что почти три четверти расходуемой воды в Турции используется в сельском хозяйстве, находит отражение и в законодательстве. Так, особый интерес представляет турецкий закон от 1991 года, регламентирующий качество вод для целей ирригации и орошения [2]. По классификации данного документа водам присваивается одна из 5 категорий качества, количество измеряемых параметров лишь немногим уступает «Закону о контроле загрязнения воды», а нормы содержания неорганических веществ приведены для различных условий и продолжительности ирригации.

### **Источники**

1. FAO AQUASTAT Dissemination System [Электронный ресурс]. <https://data.apps.fao.org/aquastat/?lang=en&share=f-b4af3fdf-b77d-4b46-95a4-90fb7c1f998e> (дата обращения: 17.02.2024).

2. Kendirli, Berna & Cakmak, Belgin & Gokalp, Zeki. (2005). Assessment of Water Quality Management in Turkey. Water International - WATER INT. 30. 446-455. 10.1080/02508060508691889.

3. Ресурсы пресной воды и их использование [Электронный ресурс]. [https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/b10\\_39/IssWWW.exe/Stg/10-02.htm](https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/b10_39/IssWWW.exe/Stg/10-02.htm) (дата обращения: 20.02.2024).

4. REGULATION FOR WATER POLLUTION CONTROL(\*) Official Gazette Published Date: 4.9.1988 No: 19919 [Электронный ресурс]. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/tur13466.pdf> (дата обращения: 22.02.2024).

5. Калайда М.Л., Аль-Бачри Валид Сами Джавад Сравнительные особенности химического состава вод в реке Тигр в Ираке и реке Волга в Республике Татарстан. Бутлеровские сообщения. 2016. Т. 46. № 4. С. 47-53.

6. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: Учеб. пособие/Д.А.Кривошеин, П.П.Кукин, В.Л.Лапин и др. - М.: Высшая школа, 2003." с.38,40-41.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫРАЩИВАНИЯ АЛОЭ ДРЕВОВИДНОГО (ALOE ARBORESCENS MILL.) В АКВАПОНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ

Медведева Анастасия Сергеевна<sup>1</sup>, Борисова Светлана Дмитриевна<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>medvedevaas2018@mail.ru, <sup>2</sup>svetlana-zag@bk.ru

В статье рассматривается возможность выращивания алоэ древовидного в аквапонической установке, которая сочетает в себе как выращивание растительной продукции, так и производство рыбной продукции. Получено уравнение скорости роста алоэ в аквапонике. Даны рекомендации по совместному выращиванию алоэ древовидного и клариевых сомов.

**Ключевые слова:** аквапоника, алоэ древовидное, лекарственные растения, скорости роста, гидробионты, фитолампа.

## STUDY OF ALOE ARBORESCENS GROWING IN AQUAPONIC PLANT

Medvedeva Anastasia S.<sup>1</sup>, Borisova Svetlana D.<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>medvedevaas2018@mail.ru, <sup>2</sup>svetlana-zag@bk.ru

The article considers the possibility of growing aloe arborescens in an aquaponic installation, which combines both the cultivation of plant products and the production of fish products. The equation of aloe growth rate in aquaponics is obtained. Recommendations for the joint cultivation of aloe tree and clari catfish are given.

**Keywords:** aquaponics, aloe arborescens, medicinal plants, growth rates, hydrobionts, phytolamp.

Аквапоника — это выращивание растений и гидробионтов в рециркуляционной среде. Термин происходит от двух слов: аквакультура (выращивание рыбы в закрытой системе) и гидропоника (выращивание растений в беспочвенной среде). И в аквапонике, и в гидропонике выращиваются в основном овощи и листовая зелень. В настоящее время перспективное научное направление — совместное выращивание лекарственных растений и рыб [1, 2, 3].

Алоэ древовидное (*Aloe arborescens* Mill.) - вечнозелёное суккулентное растение, вид рода Алоэ семейства Асфodelовые (*Asphodelaceae*). Это одно из наиболее популярных лекарственных растений в России. В листьях и соке растения содержатся ферменты, витамины, фитонциды, алоин, наталоин, рабарберон, гомонаталин, эмодин (1,66 %), смолистые вещества и следы эфирных масел. Различные части растения содержат около 75 питательных веществ, а также 200 активных соединений.

Препараты из алоэ оказывают слабительное, желчегонное действие, обладают выраженным противовоспалительным и противоожоговым свойством, усиливают секрецию пищеварительных желёз, улучшают аппетит и пищеварение. Сок алоэ обладает бактериостатическим действием в отношении многих групп микробов: стафилококков, стрептококков, дифтерийной, брюшнотифозной и дизентерийной палочек.

Сегодня фитотерапия является медицинской отраслью, но практически не регулируется на законодательном уровне. Таким образом, аквапоническое выращивание позволяет всегда иметь под рукой лекарственные растения, при этом потребитель будет уверен в условиях выращивания того или иного растения [3, 4].

Эксперименты по выращиванию алоэ древовидного проведены в модельной экспериментальной аквапонической установке кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» Казанского государственного энергетического университета [5]. Эксперимент длился 2 месяца при постоянной температуре воздуха в помещении 24°C, влажности 83%, при освещении фитолампами мощностью 110 Ватт 12 час в сутки. Выращивание алоэ древовидного проводилось на метаболитах клариевых сомов (*Clarias gariepinus*) массой 800–900 г при плотности посадки 30 кг/м<sup>3</sup>. В течение эксперимента проводились регулярные измерения высоты растения, а также осуществлялся анализ общего состояния растений.

Молодые черенки алоэ древовидного на 5 день эксперимента дали заметные корни. На 10 день эксперимента корневая масса была достаточная для пересадки алоэ в землю.

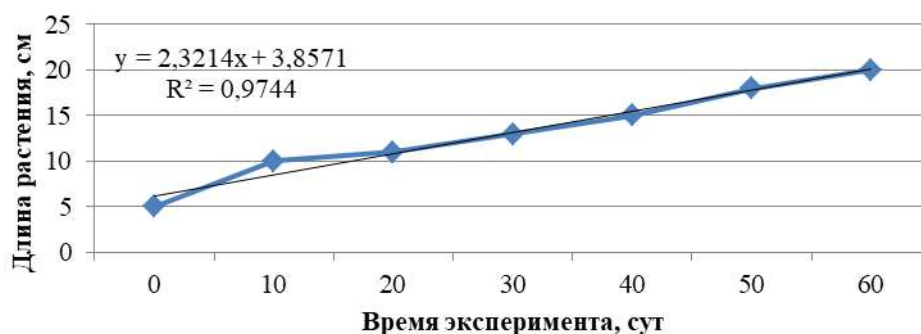


Рис.1. Результаты экспериментального выращивания алоэ древовидного в аквапонике

Результаты эксперимента по выращиванию алоэ, представленные на рисунке позволяют описать скорость его роста уравнением:  $y = 2,3214x + 3,8571$ ,  $R^2 = 0,9744$ .

Общий визуальный анализ растения показывает, что к концу эксперимента алоэ было длинным, но стебель был тонким, листья узкими и не мясистыми.

Таким образом, выращивание лекарственных растений в аквапонике 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. Выращивание алоэ древовидного в аквапонике показало, что аквапоническое выращивание позволяет быстро получать укорененные побеги алоэ древовидного, при этом более длительное выращивание в аквапонике нецелесообразно. Более взрослое растение имеет тонкий стебель и не мясистые листья.

### Источники

1. Graber A., Junge R. Aquaponics systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production // *Desalination*. 2009. № 246. P. 147–156.
2. 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>
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.

5. Патент на полезную модель РФ № 215077, 28.11.2022. Устройство для выращивания рыбы, раков, растений // Патент на полезную модель РФ № 215077, 28.11.2022. / Калайда М.Л., Хамитова М.Ф., Борисова С.Д., Пиганов Е.С., Исмагилов Ф.А., Калайда А.А.

УДК 591.9

## **СОВРЕМЕННОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ РОТАНА В РОССИИ**

Мингазов Нияз Рамилевич

Науч. рук, д-р биол. наук, проф. Калайда М.Л.

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

niyaz-kazan01@mail.ru

Рассмотрены особенности исторического распространения на территории России головешки - ротана (*Percottus glenii* Dybowski). Показаны районы его расселения и их связь с работами аквариумистов и зарыблением прудовых рыбоводных хозяйств. Большое внимание уделено расселению ротана в водоемах г.Казань. Отличается высокими адаптивными способностями к различным условиям обитания и часто становится доминирующим видом.

**Ключевые слова:** ротан, распространение, ареал, Поволжье, малые водоемы г.Казань.

## **MODERN DISTRIBUTION OF ROTAN IN RUSSIA**

Mingazov Niyaz R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

niyaz-kazan01@mail.ru

The features of the historical distribution of the rotan firebrand (*Percottus glenii* Dybowski) on the territory of Russia are considered. The areas of its settlement and their connection with the work of aquarists and the stocking of pond fish farms are shown. Special attention is paid to the settlement of rotan in the reservoirs of Kazan. It has high adaptive abilities to various habitat conditions and often becomes the dominant species.

**Keywords:** rotan, distribution, area, Volga region, small reservoirs of Kazan.

Исторически по [1] головешка-ротан (*Percottus glenii* Dybowski, 1877) был обычным представителем водоемов Дальнего Востока и бассейна реки Амур. В этом регионе он предпочитал стоячие воды и болота. Самая восточная точка распространения этого вида приходится на северо-западную часть острова Сахалин [2]. На данной территории он был обнаружен в озерах и водоемах о. Сахалин. Также часто встречается в Западной Сибири. В настоящее время ареал ротана на данной территории продолжает расширяться, особенно в период паводка (май-начало июня) благодаря общей заболоченности территорий [3].

Распространению ротана в Северной Евразии способствовали любители-аквариумисты [1]. Ипполит Заливский в 1912 г. привез несколько ротанов из р.Зеи – притока р.Амур и содержал их 4 года в аквариуме в п. Лисий Нос. В 1916 г. он выпустил их в садовый пруд. Тогда же в 20-е годы прошлого столетия ротаны были выпущены в водоемы г. Сестрорецка из которого они попали в Финский залив Балтийского моря. Ротан быстро распространился в прибрежной зоне Финского залива и к началу 1950-х годов стал обычным видом в водоемах Ленинградской области. В Москве и Подмоскovie ротан появился в 1948 году в обществе аквариумистов и был выпущен ими в ряд водоемов. С этого началось его распространение в этой области. К 1970-м годам он встречался повсеместно по Подмоскovie. В результате случайного завоза вместе с амурским сазаном в 1970 г. в Илевский рыбхоз ротан попал в Горьковскую область. Ротану понадобилось 25 лет, чтобы расселиться к концу XX столетия от Москвы до Волги. По Волге он расселялся еще быстрее и за 11 лет добрался до акваторий Самары. По современным исследованиям головешка-ротан полностью освоил бассейн реки Волга [4]. В Куйбышевском водохранилище ротан он встречался с 1981 года, где отмечался в уловах рыбаков – любителей в Мешинском и Свияжском заливах, Камском и Волжском плесах и устье р.Казанка. В Чебоксарском водохранилище головешка-ротан впервые был пойман в 1982 г., в Саратовском – в 1983 г [5].



К настоящему времени ротан освоил водоемы бассейнов рек Волги, Днепра, Дона, Днестра, Дуная, Иртыша, Урала, Енисея, Оби, Амура.

Нами ротан отмечен в уловах рыбаков-любителей в малых водоемах г. Казань - о. Харовое, о. Марьино и без названия у парка Победы, о. Б. Чайковое (38 квартал), о. Б. Чуйковое (17 квартал), в Дербышках в о. Комсомольское. В этих водоемах ротан практически является доминирующим наравне с серебряным карасем видом и ловится рыбаками в значительных количествах – летом в среднем на 1 удочку в час до 60 экз.

Результаты исследований позволяют считать ротана выносливой рыбой с очень широкими адаптационными способностями, способствующими его расселению в малых водоемах [3].

Таким образом, ротан занял особую нишу – освоил не пригодные из-за заморных условий малые водоемы.

### Источники

1. Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России. М.: Наука, 1998. 125 с.

2. Соколов, С. Г. Разнообразие паразитов ротана (*Percottus glenii*, Osteichthyes, Odontobutidae) в границах нативного ареала / С. Г. Соколов, Е. В. Фролов // Зоологический журнал. – 2012. – Т. 91, № 1. – С. 17. – EDN OOWPXV.

3. Поляков, А. Д. Биология ротана в водоемах Кузбасса / А. Д. Поляков, Г. Т. Бузмаков // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 5. – С. 78-80. – EDN IRPFIV.

4. Калайда М.Л. Необходимость учета любительского и браконьерского рыболовства при аквакультуре водохранилищ/ Аквакультура начала XXI века: истоки, состояние, стратегия развития // Материалы Международной научно-практической конференции (п. Рыбное, 3-6 сентября 2002 г.). - М.: Изд-во ВНИРО, 2002.- с. 88-91.

5. Горелов М.С. Рыбы // Природа Куйбышевской области. Куйбышев: Куйбыш. кн. изд-во, 1990. С. 347 – 365;

## **ВИДОВОЙ СОСТАВ ГИДРОБИОЦЕНОЗА АКВАПОНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК КАФЕДРЫ ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ»**

Мымрина Мария Андреевна<sup>1</sup>, Хамитова Мадина Фархадовна<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
mari.mymrina.04@inbox.ru

В работе представлены результаты качественного анализа видового состава биоценоза аквапонических установок. Проведен сравнительный анализ биоценозов установок с разной степенью нагрузки на систему водоочистки.

**Ключевые слова:** аквапоника, гидробиоценоз, видовое разнообразие.

## **SPECIES COMPOSITION OF HYDROBIOCENOSIS OF AQUAPONIC INSTALLATIONS OF THE DEPARTMENT OF VBA «KGEU»**

Mymrina Maria A.<sup>1</sup>, Khamitova Madina F.<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
mari.mymrina.04@inbox.ru

The paper presents the results of a qualitative analysis of the species composition of the biocenosis of aquaponic installations. A comparative analysis of biocenoses of installations with different degrees of load on the water treatment system was carried out.

**Keywords:** aquaponics, hydrobiocenosis, species diversity.

Аквапоника – это искусственная экосистема, в которой одновременно содержатся объекты аквакультуры и растения. Продукты метаболизма рыбы являются питательной средой для растений, которые в свою очередь выводят их воды. Повышая степень очистки, в том числе от нитратов [1]. На корневой системе растений формируется сложный гидробиоценоз из бактерий и консументов следующих порядков, выполняющий функции биологической очистки [2].

Отбор гидробиологических проб осуществлялся в аквапонических установках кафедры ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ» с ноября по февраль 2023г. Качественными пробами послужили иловые отложения, формирующиеся на корневой системе растений, находящихся в условиях постоянной проточности оборотной воды циркуляционных установок.

Исследованная установка представляет из себя бассейн объемом 3200 л, отстойник, биологический фильтр – 350 л, 4 проточных лотка для растений – 19 л. Оборота воды в системе раз в 3 часа. В установке содержатся 20 африканских клариевых сомов общей массой 83 кг, плотность посадки составляет 25,9 кг/м<sup>3</sup>. Ежедневная доза внесения кормов в период исследования составляла 160 г/сут. В установке выращивались спатифиллум, в количестве 22 шт., монстера – 2 шт., филодендрон лазящий – 1 шт., традесканция – 3 шт. (рис.1а).

Температура воды в период исследования составляла в среднем 26,1±1,2 °С, концентрация растворенного кислорода – 3,34±0,7 мг/л, рН – 5,52±0,98, минерализация воды – 1135,3±99,2 мг/л. Концентрация азотистых соединений в период исследования в среднем составляла: 40 мг/л NH<sub>3</sub> (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), 20,0 мг/л NO<sub>2</sub>, 400 мг/л NO<sub>3</sub>. Следует отметить, что клариевые сомы обладают высокой резистентностью к соединениям азота в воде, и активно питаются и растут даже при высоких концентрациях аммиака и нитритов. Из этой установки было отобрано 6 проб с периодичностью раз в 2 недели.

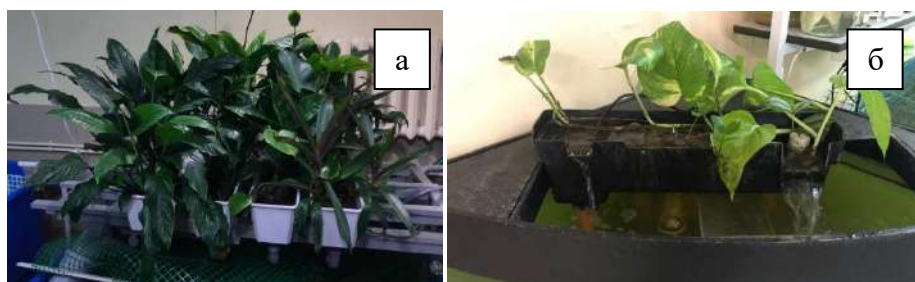


Рис.1 Исследованные аквапониические установки кафедры ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Для сравнений нами была однократно отобрана проба из аквариальной аквапоники с меньшей нагрузкой. Аквариальная аквапоника включает в себя аквариум объемом наполнения 97 л, насос малой мощности и емкость с растениями объемом 3 л. Скорость подачи воды в емкость с растениями 0,01 л/с. В аквариуме содержатся 20 декоративных карасей, общей массой 0,28 кг, плотность посадки составляет 2,8 кг/м<sup>3</sup>. Ежедневная доза внесения кормов составляла 10 г/сут. В установке выращивается Филодендрон лазящий, в количестве 2 шт. (рис.1б).

Температура воды в момент отбора пробы составляла 22,9 °С, концентрация растворенного кислорода – 5,8 мг/л, рН – 5,99, минерализация воды – 885 мг/л, концентрация азотистых соединений – 0,5 мг/л NH<sub>3</sub> (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), 2,0 мг/л NO<sub>2</sub>, 50 мг/л NO<sub>3</sub>.

Качественная обработка проводилась при помощи микроскопа Микмед-5 с увеличением до 2000 крат, окуляр-микрометра, предметных и покровных стёкол. Обнаруженные организмы фотографировались, снимались на видео с помощью цифрового микроскопического комплекса и вносились в базу данных кафедры. Для идентификации использовались атлас «Фауна аэротенков» и «Определитель беспозвоночных Европейской части СССР» под редакцией Л.А. Кутиковой [2, 3].

Всего за период исследования было встречено 41 вид и форма: 20 – видов в аквариальной аквапонике и 30 – в аквапонике с сомами (от 9 до 17 видов и форм в пробе).

Самой разнообразной по числу видов группой, были инфузории, на них приходилось 49% всех видов и форм. Так же в составе гидробиоценоза встречались жгутиконосцы, амёбы, солнечники, гастротрихи, коловратки, плоские, круглые и кольчатые черви.

Наиболее типичными видами для аквапонических установок кафедры являлись коловратки *Rotaria elongata* (Weber, 1888), инфузории *Aspidisca costata* (Dujardin, 1842) и *Uronema nigricans* (Müller, 1786), встречавшиеся во всех пробах [4].

Сравнение исследованных аквапоник выявило большее видовое разнообразие при разовых съёмках в аквариальной системе с меньшей нагрузкой, преимущественно за счет инфузорий классов Kinetophragminophora и Oligohymenophora, при этом представители голых амёб, сидячих инфузорий Peritricha, плоских и кольчатых червей встречались только в аквапонике с сомами.

## Источники

1. Аквапоника и принцип её работы [Электронный ресурс] <https://agromatik.ru/assets/img/upload/2020/10/08/%D0%90%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0.pdf?yclid=ltkadr6ip8272392410> (Дата обращения 27.02.2024)

2. Калайда М.Л., Бабилова В.В., Хамитова М.Ф. особенности гидробиоценоза биофильтра малой установки замкнутого водоснабжения. Мат. межд. конф.: Современное состояние и развитие аквакультуры. Новосибирск, 2020. С. 92-97.

3. Кутикова Л.А. Фауна аэротенков. Л.: Наука, 1984. 264 с.

4. Кутикова Л.А., Старобогатов. Я. И. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Санкт-Петербург: «Гидрометеиздат», 1977 г. 510 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ РЫБОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Саетов Айнур Расихович

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. Калайда Марина Львовна

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

saetov67@mail.ru

В статье рассмотрены особенности работы гидроакустических элементов системы контроля для определения эффективности рыбозащитных сооружений. Действенность недопущения проникновения водных биоресурсов в водозаборные сооружения нормируется российским законодательством. Нормативная эффективность работы рыбозащитных сооружений составляет не менее 70%. Согласно вступивших в 2023 году изменений в законодательной базе, применение гидроакустических средств допустимо при проведении ихтиологических исследований в рабочей зоне рыбозащитных сооружений с целью регистрации рыб.

**Ключевые слова:** водоем, водозабор, водные биоресурсы, рыбозащитное сооружение, контроль, эффективность, гидроакустика, электростанция.

## **INVESTIGATION OF THE FEATURES OF THE FUNCTIONING OF HYDROACOUSTIC DEVICES FOR MONITORING THE EFFICIENCY OF FISH PROTECTION STRUCTURES**

Saetov Ainur R.

Scientific advisor Kalaida Marina L.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

saetov67@mail.ru

The article discusses the features of the operation of hydroacoustic elements of the control system to determine the effectiveness of fish protection structures. The effectiveness of preventing the penetration of aquatic biological resources into water intake facilities is regulated by Russian legislation. The regulatory efficiency of fish protection facilities is at least 70%. According to the changes in the legislative framework that entered into force in 2023, the use of sonar is permissible when conducting ichthyological studies in the working area of fish protection facilities in order to register fish.

**Keywords:** reservoir, water intake, aquatic bioresources, fish protection facility, control, efficiency, hydroacoustics, power plant.

Для производства электрической и тепловой энергии конденсационным электрическим станциям необходимы значительные объемы воды на охлаждение теплообменников. В водозаборы при этом попадает рыба, тем самым наносится ущерб водным биологическим ресурсам. В связи с этим по Федеральному закону от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» все водозаборы электростанций оснащаются рыбозащитными сооружениями [1]. Пунктом 2 «Постановления Правительства РФ от 29.04.2013 г. №380 "Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания» определено, что в целях предотвращения попадания биоресурсов в водозаборные сооружения обязательна установка эффективных рыбозащитных сооружений [2].

Согласно Свода Правил СП 101.13330.2023 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» (пункты 9.5.1 и 9.9) эффективность работы рыбозащиты водозаборных устройств для рыб размером от 12 мм и выше должна быть не менее 70% по всем сезонам водопользования [3, 4]. С 17 июля 2023 года в силу вступила новая редакция данного СП, одним из существенных нововведений которого является применение гидроакустических средств, в пунктах Л.5 и Л.8 говорится о том, что при определении эффективности рыб защитных сооружений при сбора материала по видовому, размерному и количественному составу рыб допускается использовать гидроакустические средства.

Нововведение является полезным и своевременным, так как в полной мере отражает новые «цифровые» возможности. В воде акустические волны распространяются намного быстрее, а затухают гораздо слабее, нежели в воздухе, это создает благоприятные условия для приема дальних сигналов. Звуковые технологии функционируют в любых средах обитания рыб, в том числе с плохой видимостью. Акустические волны затухают намного слабее, чем электромагнитные, и распространяются на большие расстояния [5, 6].

С помощью эхолота возможно наблюдать и количественно определять пространственное распределение, распределение по размерам, суточную активность, отношения хищник-жертва, скорость миграции, временную активность и другие параметры: количество рыбы, размер рыбы, поведение рыбы. Кроме того, при помощи эхолота можно контролировать рыбный проход – количественно оценить перемещение рыбы мимо стационарной системы гидроакустического мониторинга [7, 8].

Принцип работы эхолота таков: электрический импульс от передатчика трансформируется в звуковую волну при помощи подводного преобразователя, (гидрофона), и посылается под воду [9]. Когда звуковая волна ударяется об рыбу, она отражается от нее и отображает размер, состав и форму рыбы. Обратный эхосигнал через преобразователь преобразуется в электрический сигнал, который усиливается приемником и подается на экран. Так как скорость звука в воде величина постоянная (примерно 1,575 км/сек), то по времени между началом сигнала и отражением отраженного эхо вычисляется расстояние до предмета.

Скорость звука в воде зависит от температуры, солености и давления (глубины):

$$c = 1404,85 + 4,618T - 0,0523T^2 + 1,25S + 0,017D [9]$$

где  $c$  = скорость звука (м/с),

$T$  = температура (градусы Цельсия),

$S$  = соленость (промилле),

$D$  = глубина.

Типовые значения для эхолотов: 1463 м/с в пресной воде. Процесс отражения сигнала повторяется до 40 раз в секунду и приводит к отображению в зависимости от времени (функция глубиномера). Чувствительность эхолота к температуре и давлению позволяет определить точное местоположение рыбы в воде с помощью датчика температуры. Присутствующая во многих современных эхолотах функциональность позволяет отслеживать и отображать на экране изменения в движении рыб и их местоположение. В таблице 1 приведены основные характеристики наиболее популярных моделей гидроакустических модемов.

Таблица 1

Характеристики моделей гидроакустических модемов

№	Модель	Страна	Компания	Угол луча, градус	Скорость передачи информации, килобит	Частота, кГц
1	Оптический подводный модем DeepLight	Россия	UC&N	40	4,68	120
2	Гидроакустический микромодем uWave	Россия	UC&N	15 и 55	0,08	120
3	Гидроакустический	Россия	AQUA	15 и 55	4	90/290

	модем АТМ-28					
4	Гидроакустический модем АТМ-28ОЕМ	Россия	AQUA	47, 20 и 7	1,7	90/290
5	Sealink	Филиппины	DiveNET	47, 20 и 7	1,4	90/290
6	S2C R WiSE Modems	Германия	Evologics	47 и 7	6,9-31,2	100/290/675
7	Modem 6 (subsea)	Англия	Sonardyne	15 и 55	10	100/290/675
8	Kongsberg cNODE Modem MiniS	Норвегия	Kongsberg	15 и 55	0,16-11,7	100/290/675
9	Модем AQUA Op2	США	Aquatec	47 и 20	1,275	90/290

Указ Президента РФ № 642 от 1 декабря 2016 г. «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» гласит, что приоритетными считаются «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» [10]. На нынешнем уровне научно-технического развития появились совершенно иные «цифровые» возможности, что позволяет расширить методы мониторинга эффективности работы рыбозащитных сооружений водозаборов электрических станций [11].

Разработка методики оценки эффективности рыбозащитных сооружений с помощью гидроакустической съемки является наиболее современным способом, соответствующим сегодняшнему уровню развития науки и техники.

### Источники

1. Федеральный закон от 20 декабря 2004 г. N 166-ФЗ "О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов" (с изменениями и дополнениями). <https://base.garant.ru/12138110/>



2. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.04.2013 № 380 "Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201305080087>
3. СП 101.13330.2023 «СНиП 2.06.07-87 Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения». <https://minstroyrf.gov.ru/docs/318744/>
4. Эрслер А.А., Шерамет Н.Г. Экспресс-методика по определению функциональной эффективности рыбозащитных сооружений на водозаборах // Москва, ЦУРЭН, МИК. 2002. С. 42-43.
5. Калайда М.Л., Муганцева Т.П. Повышение эффективности работы системы технического водоснабжения ТЭС // Известия ВУЗов: Проблемы энергетики. 2012. Т., № 7/8. С. 128-131.
6. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 1 сентября 2009 г. N 786 "Об Инструкции о порядке осуществления контроля за эффективностью рыбозащитных устройств и проведения наблюдений за гибелью рыбы на водозаборных сооружениях". <https://base.garant.ru/12171525/>
7. Кузнецов М.Ю. 2013. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра. Изв. ТИНРО 172: С. 20–51.
8. Кузнецов М.Ю., Убарчук И.А., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В. 2021. Программный комплекс для визуализации, многовидовой обработки и хранения данных гидроакустических ресурсных съёмок. Труды ВНИРО 183: 174–190. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-183-174-190
9. Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.
10. Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. N 642 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями). <https://base.garant.ru/71551998/>
11. 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

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ АКВАКУЛЬТУРНОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН. ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ КЛАСТЕРА АКВАБИОТЕХНОЛОГИЙ В РЕГИОНЕ

Хайруллина Эльвира Ильдаровна<sup>1</sup>, Хамитова Мадина Фархадовна<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>ellyk1@mail.ru, <sup>2</sup>it-sk@bk.ru

В статье рассмотрено состояние мировой и отечественной аквакультуры, основные проблемы, тормозящие её успешное развитие в регионе. Приведено обоснование для создания отраслевого кластера.

**Ключевые слова:** аквакультура, экономика, кластер аквабиотехнологий.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STATE OF THE AQUACULTURAL SECTOR OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN. PREREQUISITES FOR CREATION OF AQUABIOTECHNOLOGY CLUSTER IN THE REGION

Khairullina Elvira I.<sup>1</sup>, Khamitova Madina F.<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan,  
ellyk1@mail.ru<sup>1</sup>, it-sk@bk.ru<sup>2</sup>

The article examines the state of global and domestic aquaculture, the main problems hindering its successful development in the region. The author explains the rationale for creating an industry cluster.

**Keywords:** aquaculture, economics, aquabiotechnology cluster.

Аквакультура, как сектор экономики, развивается во многих странах мира. Необходимость динамичного роста данной отрасли обусловливается уменьшением объемов промысловой добычи рыбы и увеличением численности населения в мире. В 2000г. доля мировой аквакультуры составляла 25,7%, в 2016г. – уже 46,8%, и по оценкам ФАО этот показатель продолжит расти. При этом 2023 г. назван ФАО сложным для мировой рыбной индустрии в целом. Основные тенденции – слабый спрос и серьезные изменения в структуре торговли, ограниченное предложение [1]. Рост стоимости жизни негативно влияет на перспективы рынка, так что

даже в развитых странах объемы продаж дорогих морепродуктов снижаются, поскольку потребители переходят на более дешевые варианты.

Мировым лидером в области аквакультуры является Китай, который с 1991 г. выращивает больше половины мирового производства, за ним следуют ряд стран Азии – Вьетнам, Индонезия, Бангладеш, Япония, Индия, Таиланд, Филиппины, в Европе – Норвегия. По прогнозам развития мировой аквакультуры к 2030 г. прирост продукции составит 37% по сравнению с 2016г., при среднегодовых темпах роста 2,1%.

Пик отечественной товарной аквакультуры наблюдался в 1980-е гг. Объемы ее производства в Советском Союзе за 1970-1980 гг. увеличились в 2 раза – до 157,9 тыс. т, за 1980-1990гг. – еще в 2,6 раза, достигнув максимума в 1990 г. (418,3 тыс.т) [2]. Негативные моменты, связанные с общей экономической дестабилизацией в стране, вызвали сокращение объема выращивания рыбы, минимальный уровень производства зафиксирован в 1996 г. В настоящее время в рейтинге стран Россия входит в третью десятку стран мира по производству товарной рыбы, обеспечивая лишь 0,3% мировой продукции аквакультуры [3].

Развитие аквакультуры в России испытывает ряд проблем, требующих пристального внимания и решения, в т.ч. высокая импортозависимость по кормам, дефицит качественного отечественного рыбопосадочного материала, низкий уровень борьбы с заболеваниями, устаревшие производственные мощности и материально-техническая база рыбоводных предприятий. Прогнозные данные позитивной динамики аквакультуры отражены в Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов, в соответствии с которой объемы производства товарной аквакультуры, включая посадочный материал, к 2030 году должны достичь 618 тыс. тонн [3,5]. Для сравнения – в 2021 году объем производства товарной аквакультуры составил 365,6 тыс. тонн, иными словами к 2030 году планируется нарастить производство вдвое.

Обзор компаний рыбоводства (по соответствующему ОКВЭД) в Республике Татарстан по результатам отчетности за 2022 финансовый год [4] показал, что в республике зарегистрировано 28 действующих компаний, 12 из которых отразили выручку в 2022 г. Общая выручка отрасли составила 74,1 млн. руб. в среднем 6,37 млн. руб. на одно действующее предприятие. 7 предприятий отразили рост в 2022 г. и 4 – убыток, средние темпы роста составили 6%. В сравнении, Астраханская область – регион с развитой инфраструктурой отрасли, при общей численности действующих предприятий 42 имеет общую выручку более чем в 10 раз выше чем предприятия Республики Татарстан – 854,4 млн.

руб., это – 31,6 млн. руб. в среднем на предприятие. Средний темп роста в области составил за 2022г. – 64,3% на предприятие.

Республика Татарстан является регионом с одним из богатейших водных фондов в России и имеет огромный потенциал для развития рыбоводства и значительный внутренний рынок. Проведенное сравнение показывает значительное отставание в развитии сектора аквакультуры Республики Татарстан в сравнении с регионом с развитой инфраструктурой отрасли. Основанием для данного вывода являются как меньшее количество предприятий, так и меньшие объемы производства, при меньшем темпе роста. Очевидна необходимость и перспективность обширной системной поддержки и структурного подхода к стимуляции развития сектора аквакультуры и смежных секторов экономики, таких как, например, кормопроизводство, переработка и др. нашего региона, что повысит инвестиционную привлекательность отрасли, создаст условия для здоровой конкуренции, повышению доли местной высококачественной продукции на потребительском рынке региона. Одним из вариантов оптимизации деятельности рыбоводства может стать создание в Республике Татарстан кластера аквабиотехнологий.

### **Источники**

1. International markets for fisheries and aquaculture products – Fourth issue 2023, with January – June 2023 statistics. GLOBEFISH Highlights, FAO. 2023. No. 4–2023. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9176en>

2. Анализ состояния и перспективные направления развития аквакультуры: науч.аналит.обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 88с.

3. Колончин К.В., Труба М.А., Кузичева Н.Ю. Тенденции развития аквакультуры в России: перспективы качественного улучшения продовольственной безопасности и устойчивого роста экономического потенциала отрасли // Продовольственная политика и безопасность. – 2023. Том 10. № 3. С. 533-546.

4. РБК Компании. [Электронный ресурс] [https://companies.rbc.ru/search/?category\\_id=729&query=&sorting=-revenue\\_growth\\_rate](https://companies.rbc.ru/search/?category_id=729&query=&sorting=-revenue_growth_rate)

5. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс] <http://static.government.ru/media/files/G3hzRyrGPbmFAfBFgmEhxTrec694MaHr.pdf> (дата обращения 28.02.2024)

## Секция 8. Перспективные материалы

УДК 620.194.3

### ЯВЛЕНИЕ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ

Яруллина Алина Айдаровна<sup>1</sup>, Абсаламова Сабина Маратовна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Низамов Айдар Азатович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>alinayarullina@bk.ru, <sup>2</sup>absalamovasabina3@gmail.com

В данной работе рассмотрены сущность явления фреттинг-коррозии, а также причины вызывающие ее. Приведены современные методы защиты поверхностей деталей от фреттинг-коррозии.

**Ключевые слова:** фреттинг, фреттинг-усталость, коррозия, абразивные частицы, износ.

### THE PHENOMENON OF FRETTING CORROSION

Yarullina Alina A.<sup>1</sup>, Absalamova Sabina M.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>alinayarullina@bk.ru, <sup>2</sup>absalamovasabina3@gmail.com

This paper examines the essence of the phenomenon of fretting corrosion, as well as the causes that cause it. Modern methods of protecting the surfaces of parts from fretting corrosion are presented.

**Keywords:** fretting, fretting fatigue, corrosion, abrasive particles, wear.

Многие номинально неподвижные соединения, работающие в условиях вибраций и коррозионно-активных сред, часто преждевременно выходят из строя. Одной из причин этого является фреттинг-коррозия. В настоящее время процесс фреттинг-коррозии является не до конца изученным. Тем не менее с достаточной достоверностью установлено, что она начинается собственно с фреттинга, после чего следует фреттинг-усталость. Под фреттингом понимают механическое изнашивание поверхностей сопряженных металлических деталей в результате их повторяющегося с малой амплитудой относительного друг другу движения, а под фреттинг-усталостью - появление усталостных трещин.

При этом влияние активной среды на зону контакта деталей ведет к возникновению коррозии.

Основные причины возникновения фреттинга-коррозии:

- амплитуда относительных перемещений контактирующих деталей, по величине меньше размеров микронеровностей, находящихся в области соприкосновения;
- затрудненный отвод отделившихся в результате трения частиц оксидов, оказывающих абразивное воздействие;
- электрохимическая неоднородность поверхностного слоя, возникшая в результате пластической деформации;
- ускорение окисления металлов в результате тепла, выделяющегося при трении.

Классификация методов защиты металлов от фреттинг-коррозии (см. рисунок), согласно которой представленные методы можно разделить на следующие группы:

- конструктивные методы, направленные на минимизацию и/или компенсирование микроперемещений деталей;
- технологические методы, к которым, например, можно отнести использование смазочных материалов, нанесение на поверхности защитных покрытий [1, 2].



Классификация методов защиты от фреттинг-коррозии

Таким образом, рассмотренный процесс фреттинг-коррозии является фактором, существенно повышающим износ деталей, при котором снижается их надежность и срок службы. Несмотря на существующие на данный момент методы защиты от фреттинг-коррозии, продолжаются исследовательские работы по разработке более эффективных методов защиты от данного вида разрушения поверхностей сопряженных деталей из металла.

#### **Источники**

1. Тудакова Н.М. Фреттинг-коррозия и конструкторско-технологические способы ее предотвращения // Труды 19-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2018": Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов. Нижний Новгород, 2018. С. 1-8.

2. Давлатов Г.Д. Фреттинг-коррозия // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи. Томск, 2016. Т. 2. С. 145-148.

УДК 620.22

## **СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН**

Бикбова Зарина Маратовна

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Низамов Айдар Азатович

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

bikbova\_zarina@bk.ru

В данной работе представлены различные типы материалов и технологий, применяемые для изготовления лопаток турбин. Для каждого типа материала приведены его основные свойства, преимущества и недостатки. Также анализируются перспективные направления в области разработки новых материалов и технологий для производства турбинных лопаток.

**Ключевые слова:** лопатки турбин, турбины, сталь, монокристалл, направленная кристаллизация.

# MODERN AND PROMISING MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF TURBINE BLADES

Bikbova Zarina M.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bikbova\_zarina@bk.ru

This paper presents different types of materials for the manufacture of turbine blades. For each type of material, its main properties, advantages and disadvantages are given. It also analyzes current trends and future directions in the development of new materials and technologies for power equipment.

**Keywords:** turbine blades, turbines, steel, single crystal, directional crystallization.

Лопатки турбин – это элементы турбины, которые преобразуют кинетическую энергию рабочего тела (пара, газа или жидкости) в механическую энергию вращения ротора. Они устанавливаются на рабочем колесе турбины (см. рисунок) и имеют специальную форму, которая обеспечивает эффективное преобразование энергии [1].



Рабочее колесо турбины [2]

Лопатки турбин являются особо ответственным элементом в конструкции турбин, поэтому к материалам, из которых они изготавливаются, предъявляются высокие требования.

В этом отношении наиболее важными являются способность материала сохранять высокую прочность и жесткость в условиях продолжительного воздействия высоких температур. При этом так называемая длительная прочность при высоких температурах (жаропрочность) обеспечивается, главным образом, стабильностью структуры материала в течение всего срока эксплуатации установки. В то же время материал, обеспечивающий необходимые прочностные свойства,



должен иметь малую плотность, что необходимо для уменьшения общей массы вращающихся частей [3].

Лопатки турбин могут быть изготовлены из различных материалов, к которым можно отнести металлические сплавы, керамику и композиционные материалы. Выбор того или иного материала производят исходя из специфики работы лопаток.

В настоящее время все возрастающие требования к эффективности и производительности турбинных установок требует разработки новых материалов для лопаток с более высоким комплексом характеристик и технологий производства.

Если говорить о современных материалах для изготовления данного элемента, то для производства, например, лопаток паровых турбин используют хорошо себя зарекомендовавшие коррозионностойкие хромистые стали марок 12Х13, 15Х11МФ и 15Х12ВНМФ. У данных сплавов накапливаемая деформация при высоких рабочих температурах в течение 100 000 часов не превышает 0,1% [4].

Одним из наиболее эффективных подходов повышения долговечности лопаток является изготовления лопаток из монокристаллических сплавов, полученных технологией направленной кристаллизации. Преимущество лопатки, изготовленной из монокристалла, является отсутствие границ зерен. В данном случае исключается возможность накопления остаточной деформации (ползучести), обусловленная появлением микротрещин и их дальнейшим ростом по границам кристаллитов структуры материала лопатки, как оно имеет место в лопатках с поликристаллическим строением.

Активно развиваемым направлением увеличения срока службы лопаток является нанесение на их поверхность различных металлических и керамических покрытий, которые не допускают контакт материала лопатки с коррозионно-активной рабочей средой и ограничивают тепловой поток в детали за счет меньшей теплопроводности керамического слоя соответственно.

Таким образом, несмотря на то что, существуют и совершенствуются и конструктивные способы улучшения долговечности турбинных лопаток, материаловедческий аспект рассматриваемого в работе вопроса трудно переоценим. В данном случае правильно рассматривать решение рассматриваемой проблемы с использованием нескольких способов в комплексе. По-видимому, придерживаясь именно такого подхода, можно добиться адекватного решения проблемы.

## Источники

1. Абдуллин И.И., Мингазов З.Т. Паровая турбина // Междунар. н.-т. конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвящен. 300-летию РАН. Белгород, 2022. Ч. 14. С. 18-21.
2. «Рабочие лопатки» [Электронный ресурс]. <https://dm.energy/gazovye-turbiny/komponenty-gtu/turbina/rabochie-lopatki> (дата обращения: 23.03.2024).
3. Андрианов И.К., Палков К.А., Чепурнова Е.К. Влияние примесей жаропрочных никелевых сплавов, используемых в качестве материалов лопаток турбин, на процесс раскрытия трещин отрыва // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Комсомольский-на-Амуре, 2023. №1 (65). С. 4-8.
4. Гальцов И.А., Прохоров В.В. Применение коррозионностойких высокохромистых сталей в сварных металлоконструкциях (обзор) // Научный альманах. 2020. №8-1 (70). С. 70-78.

УДК 622.13

## МЕХАНИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ МИНЕРАЛОВ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ

Якубова Сафие Наримановна<sup>1</sup>, Гимадиева Разина Фанилевна<sup>2</sup>

Науч.рук. канд. техн. наук ст. преподаватель Бунтин Артём Евгеньевич

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>sofayakubova1805@gmail.com, <sup>2</sup>rgimadieva78@gmail.com

Процессы механической активации используются для изменения свойств материалов, повышения реакционной способности материалов, производства современных материалов и разделения композиционных материалов на составляющие. При интенсивном измельчении материалов структура и микроструктурные характеристики материала сильно изменяются. Целью данного исследования является изучение влияния технологий измельчения на микроструктуру и структурные изменения минералов.

**Ключевые слова:** механическая активация, помол, мельницы, дезинтегратор, производство, минеральная продукция.

# MECHANICAL ACTIVATION OF MINERALS DURING GRINDING

Yakubova Safie N.<sup>1</sup>, Gimadieva Razina F.<sup>2</sup>

Scientific advisor Buntin Artem E.

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan

<sup>1</sup>sofayakubova1805@gmail.com, <sup>2</sup>rgimadieva78@gmail.com

Mechanical activation processes are used to change the properties of materials, increase the reactivity of materials, produce modern materials and separate composite materials into components. With intensive grinding of materials, the structure and microstructural characteristics of the material change greatly. The purpose of this study is to study the effect of grinding technologies on the microstructure and structural changes of minerals.

**Keywords:** mechanical activation, grinding, mills, disintegrator, production, mineral products.

Использование механической активации при переработке полезных ископаемых нашло свое основное применение в области добывающей металлургии. Помимо увеличения скорости растворения минералов, механическую активацию можно также использовать для улучшения кинетики адсорбции, катализа и синтеза минералов, а также для придания минеральным поверхностям индивидуального характера. Однако, производственная практика, использующая измельчение, экономически не выгодная, так как улучшение результатов не покрывает расходов, затраченных на электроэнергию.

В современных производствах мелкодисперсной минеральной продукции более эффективными являются мельницы, основным преимуществом которых является возможность получения однородного по крупности продукта. Основным направлением совершенствования мельниц является увеличение размеров их помольных камер. При получении тонкодисперсных материалов более рациональным является способ разрушения материала рабочими органами, движущимися в противоположных направлениях, т.е. дезинтеграторами [1].

При помоле цементного клинкера в шаровой мельнице и дезинтеграторе до одинаковой тонины в последнем случае получают наиболее качественный цемент. Материал пригодный для строительства достигается при помоле частиц размерами 5-40 мкм. В первом случае размер помола достигает в среднем 5-10 мкм, что позволяет сократить время затвердевания цемента, однако прочность в разы меньше. Однако

остаток непригодных частиц составляет 20% от всего объема. Во втором случае дезинтегратор измельчает частицы размером в 80 мкм до 40 мкм и менее, в результате чего затверждение занимает больше времени, но прочность возрастает вдвое, при этом количество оставшихся крупных частиц незначительно [1,2].

Проведённые в Днепропетровском металлургическом институте опыты показали, что предварительная обработка марганцевой руды в дезинтеграторе позволяют снизить температуру восстановления и возможность сократить время выплавки металла на 2-2,5%.

В случае с железной рудой, помимо ускорения производственного процесса, замечено, что при активировании руды в дезинтеграторе выход металла из руды стопроцентный и шлаки остаются чистыми. Производилась также активация в дезинтеграторе буровых жидкостей, в результате чего повысилась скорость бурения, уменьшился износ бура [2].

Всестороннее изучение проблемы механической активации и формирование наиболее рациональных установок могут иметь поворотное значение в развитии всей технологии, ведь более мелкий помол позволяет создать качественный материал, однако остается проблема в экономической целесообразности.

### **Источники**

1. Buntin, A. E. Ceramics based on nano-modified alumino-silicates / A. E. Buntin // Solid State Phenomena. – 2021. – Vol. 316. – P. 87-93. – EDN IHHFKR. Болдырев, В. В. Механохимия и механическая активация твердых веществ, Успехи химии // РАН.-2006.-Т.75, вып. 3. С. 205.

2. Mechanical activation of cement–slag mortars [Электронный ресурс]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811002297>

УДК 621.763

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

Гиматдинов Руслан Рафаилович <sup>1</sup>, Шипиловских Никита Александрович <sup>2</sup>,  
Щербенев Николай Андреевич <sup>3</sup>

Науч. рук. кан. хим. наук, доц. Низамов Айдар Азатович

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>ruhusruhum@gmail.com, <sup>2</sup>retman41@mail.ru, <sup>3</sup>kolasi0978@mail.ru

В данной работе рассматриваются современные композиционные материалы, их свойства и преимущества перед традиционными материалами, применяемые для изготовления энергетического оборудования различного назначения.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, энергетическая отрасль, лопасти ветрогенераторов, солнечные батареи, энергетическое оборудование.

## COMPOSITE MATERIALS AND THEIR APPLICATION IN THE POWER INDUSTRY

Gimatdinov Ruslan R.<sup>1</sup>, Shipilovskikh Nikita A.<sup>2</sup>, Scherbenev Nikolay A.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>ruhusrum@gmail.com, <sup>2</sup>retman41@mail.ru, <sup>3</sup>kolasi0978@mail.ru

This paper considers modern composite materials, their properties and advantages over traditional materials used for the manufacture of power equipment for various purposes.

**Keywords:** composite materials, energy industry, wind turbine blades, solar panels, power equipment.

Композиционные материалы (КМ) представляют собой материалы, состоящие не менее чем из двух разнородных компонентов – матрицы и наполнителя, обладающих собственными химическими и физическими свойствами. В качестве материала матрица используются полимеры, металлы или керамику, упрочненные различными наполнителями. Преимущество КМ перед традиционными материалами заключается в том, что они обладают высокими удельной прочностью и модулем упругости, что дает возможность значительно уменьшить массу изготавливаемых с их применением деталей [1], масса которых ограничивается уже на этапе проектирования.

Одними из примеров использования КМ с полимерной матрицей является их применение для изготовления лопастей ветрогенераторов [2], при котором значительно уменьшается масса его вращающихся частей, что положительно отражается на производительности таких установок. Важно отметить, что, несмотря на долговечность таких лопастей, их срок службы все же ограничен. Поэтому важно вместе с этим развивать и технологии по их переработке.

Также КМ с полимерной матрицей используются для изготовления корпусов фотоэлементов солнечных батарей [3]. В этом случае уменьшается масса самой солнечной батареи, что очень важно при их расположении на крышах домов, нагрузка на которые ограничена. Кроме

того, их высокая атмосферостойкость относится к важным преимуществам, исключающим возможность ухудшения их свойств в результате действия различных факторов окружающей среды, в частности продолжительного солнечного излучения.

Таким образом, применение КМ для производства деталей энергетических установок позволяет заметно нарастить их энергоэффективность, стойкость к действию факторов окружающей среды, что в конечном итоге способствует развитию энергетической отрасли в целом.

### **Источники**

1. Батаев А.А., Батаев В. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение : учебное пособие. М: Логос, 2006. 397 с.

2. Соловьева А. А., Кулак К. С., Артамонова Е. Ю. Использование композиционных материалов при проектировании ветроэнергетических установок // Молодой ученый. Казань, 2016. С. 50-54.

3. Петрушкин А.А., Савилов А.В. Инновации в разработке солнечных элементов // Молодой ученый. Казань, 2017. № 18 (152). С. 70-78.

УДК 539.5

## **МАТЕРИАЛЫ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ НИТИНОЛА**

Еремин Артур Викторович <sup>1</sup>, Валиев Ильшат Рашидович <sup>2</sup>

Науч. рук. кан. хим. наук, доц. Низамов Айдар Азатович

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>thecoolarta@gmail.com, <sup>2</sup>ilshgul123@gmail.com

В работе представлены сведения об основных свойствах и областях применения наиболее широко используемого титано-никелевого сплава, обладающего эффектом памяти формы.

**Ключевые слова:** материалы, память формы, сплавы, нитинол.

# SHAPE MEMORY MATERIALS AND THEIR APPLICATION ON THE EXAMPLE OF NITINOL

Eremin Artur V.<sup>1</sup>, Valiev Ilshat R.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>thecoolarta@gmail.com, <sup>2</sup>ilshgul123@gmail.com

The paper presents information about the main properties and areas of application of the most widely used titanium-nickel alloy, which has a shape memory effect.

**Keywords:** materials, shape memory, alloys, nitinol.

Материалы с памятью формы (МПФ) характеризуются способностью восстанавливать в свою исходную форму после предварительной деформации. При этом само явление носит название эффекта памяти формы (ЭПФ).

Наиболее широко используемым сплавом с ЭПФ является нитинол - сплав никеля с титаном. Основные его характеристики приведены в таблице 1.

Одной из областей использования данного сплава является космическая отрасль. Так, например, антенны космических аппаратов состоят из листов и стержней нитинола. Также в России была создана технология для соединения элементов в открытом космосе с помощью муфт из сплава ТН-1. Эта технология была использована при конструировании фермы из сплавов алюминия. Ферма была сделана из трубчатых деталей, которые соединялись муфтами, сделанных из нитинола. Эти же принципы выполнения монтажных работ используются для строительства крупногабаритных подводных сооружений [1].

Таблица 1

Основные характеристики нитинола

Состав	55% Ni, 65% Ti
Плотность, г/см <sup>3</sup>	6,45-6,50
Температура плавления, °С	1250-1310
Коэффициент температурного расширения, 10 <sup>-6</sup> , К <sup>-1</sup>	12-14
Удельное электросопротивление, 10 <sup>-8</sup> , Ом·м	70-80
Коэффициент Пуассона	0,33
Предел прочности, МПа	800-1000
Предел текучести, МПа	400-700
Относительное удлинение, %	20-40
Модуль упругости, ГПа	70

Материалы с ЭПФ применяются в тепловых двигателях, работа которых основана на разности температур холодной и горячей воды. Такие двигатели работают за счет преобразования тепловой энергии в механическую. Двигатель работает за счет шести спиралей, изготовленных из нитинола [1].

В Японии создали робота с плечевой опорой, локтевым шарниром, запястьем и захватом, имеющий 5 степеней свободы. Все действия запястья и захвата обеспечиваются нитинольными спиральями, а действия шарнира – проволокой из того же сплава. Благодаря силе восстановления памяти формы действия робота приближаются к работе мускульного механизма [2].

Результаты исследований, проведенных на животных, показали, что сплавы на основе никеля и титана имеют биологическую совместимость. В связи с этим нитинол, помимо прочего, используется в медицине, например, для изготовления стержня Харинтона для коррекции позвоночника и ортодонтической проволоки [2].

### **Источники**

1. Кузнецов В.Г., Аминова Г.А. Новые конструкционные материалы : учебное пособие. Казань : Изд-во КНИТУ, 2020. 472 с.
2. Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И., Пирирайнен В. Ю. Специальные материалы в машиностроении. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 664 с.

УДК 620.22

## **ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА СВОЙСТВА РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТАЛИ**

Жалмаганбетова Севара Тугеловна<sup>1</sup>, Жексенбекова Анель Данияровна<sup>2</sup>

Науч. рук. кан. техн. наук доцент Бунтин А. Е.

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>sevajt859@gmail.com, <sup>2</sup>\_nno06196@gmail.com

В данной статье рассмотрены различные виды сталей, особенности их состава и влияние высоких температур на них. Описаны основные факторы, влияющие на скорость плавления стали, на ее устойчивость к повышенным температурам. Проведен сравнительный анализ рассматриваемых видов стали.

**Ключевые слова:** сталь, сплав, высокая температура, легированные стали, примеси, металлы.



## INFLUENCE OF HIGH TEMPERATURES ON THE PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES OF STEEL

Jalmaganbetova Sevara T.<sup>1</sup>, Zhexenbekova Anel D.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>sevajt859@gmail.com, <sup>2</sup>nno06196@gmail.com

This article discusses various types of steels, features of their composition and the effect of high temperatures on them. The main factors influencing the melting rate of steel and its resistance to elevated temperatures are described. A comparative analysis of the steel types under consideration was carried out.

**Keywords:** steel, alloy, high temperature, alloy steels, impurities, metals.

Сталь является одним из наиболее распространенных материалов в различных отраслях, к примеру, таких как машиностроение, строительство, производство и т.д. Сталь классифицируется по таким критериям, как химический состав, способы обработки, механические свойства и применение. Прочность стали зависит от ее состава. Существенным образом на структуру, поведение сталей и их механические свойства оказывают влияние высокие температуры [1-2]. Для разработки и производства материалов при работе в условиях повышенных температур необходимо понимание того, как стали реагируют на высокие температуры.

В качестве примеров для рассмотрения были выбраны легированная и углеродистая стали.

Легированная сталь – это сплав железа с другими химическими элементами, которые улучшают свойства стали, такие как прочность, твердость, устойчивость к коррозии, теплопроводность и другие. Эта сталь позволяет создавать материалы с определенными свойствами, что делает их подходящим для различных инженерных применений [2-3]. В состав легированной стали входит: Cr (1-25%), Ni (1-60%), Mo (0,2-10%), V (0,1-5%), Ti (0,1-10%), медь Cu (0,1-2%), Al (0,1-2%), Si (0,5-5%), Mn (0,5-2%).

При высоких температурах, легированная сталь может обладать термической стабильностью и устойчивостью к окислению в диапазоне от 500 до 1000 °C и выше. Легированные стали могут сохранять свои механические свойства при температуре до 800 °C и иметь повышенную сопротивляемость к образованию окислов на поверхности при температуре до 1000 °C и выше. При нагревании легированной стали происходят

различные процессы, такие как: образование оксидных пленок, фазовые превращения и рост зерен. Оптимальная температура для этого процесса составляет примерно 1000°-1100°С. Превышение этой температуры может привести к увеличению размеров зерен аустенита, что в свою очередь может вызвать растрескивание конечного изделия.

Углеродистая сталь – это вид стали, в которой основным элементом, кроме железа, является углерод. Углерод добавляется в сталь для улучшения ее свойств, таких как прочность и твердость. Углеродистая сталь может быть классифицирована по содержанию углерода. Если содержание углерода в стали составляет от 0,04% до 2,14%, то это низкоуглеродистая сталь. Если содержание углерода в стали составляет от 0,2% до 2,14%, то это среднеуглеродистая сталь. Если содержание углерода в стали превышает 2,14%, то это высокоуглеродистая сталь [4].

При температуре 1000 °С состав и свойства углеродистой стали начинают меняться. Происходят такие процессы как: окисление, при котором образуется окалина, т.е. слой оксидов, который образуется на поверхности металла при его нагреве, что приводит к потере массы металла. Также наблюдается диффузия углерода, что представляет собой перемещение углерода внутри металла и приводит к его разрушению, либо ухудшению свойств. Ещё одним разрушающим процессом является процесс рекристаллизации, при котором старые кристаллы металла разрушаются и образуются новые.

На основании вышеизложенных фактов можно сделать вывод, что поведение различных видов стали в условиях высоких температур, главным образом, зависит от химического состава стали, а точнее от количества углерода в составе сплава, что обусловлено снижением прочности стали от выделения данного элемента из ее состава под большим термическим воздействием. Структура стали также влияет на ее прочность под воздействием высоким температур. Опытным путем доказано, что стали с мелкозернистой структурой гораздо более устойчивы к воздействию высоких температур, чем сталь с крупнозернистой структурой.

## **Источники**

1. Бунтин, А. Е. Изменение параметров структуры и свойств слоистых силикатов при ультразвуковых и сверхвысокочастотных воздействиях / А. Е. Бунтин, М. С. Ваганов // Вестник Технологического

университета. – 2023. – Т. 26, № 2. – С. 85-89. – DOI 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_2\_85.

2. Технические характеристики водород-фильтрующего модуля на основе палладиевой фольги / Л. П. Диденко, М. С. Воронежский, Л. А. Семенцова [и др.] // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 10(90). – С. 154-161.

3. Вафина, Э. И. акустические метаматериалы / Э. И. Вафина, А. Е. Бунтин // СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ и ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ современной науки: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 21 ноября 2022 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2022. – С. 74-81.

4. Штайгер, М. Г. Особенности структурообразования металла рельсового стыка в условиях термомеханического воздействия в процессе сварки: специальность 05.16.09 "Материаловедение (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Штайгер Максим Григорьевич, 2021. – 248 с.

5. Свистунова, Т. В. Стали с повышенным сопротивлением к локальным видам коррозии / Т. В. Свистунова, А. П. Шлямнев // Коррозия: материалы, защита. – 2006. – № 2. – С. 2-8.

УДК 541.64:66.095.26

## **МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТОВ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Зьонг Тхи Май<sup>1</sup>, Сазонов Олег Олегович<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р. хим. наук, профессор Давлетбаева И.М.

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> duongthimai09091995@gmail.com

На основе  $\text{CuCl}_2$  и N,N'-диэтилгидроксиламина (ДЭГА) получены координационные соединения меди, проявляющие активность в реакциях с и уретановыми группами. Установлено, что при взаимодействии сегментированных полиуретанов с металлокомплексной системой на основе  $\text{CuCl}_2$  и ДЭГА происходит укрупнение жестких блоков за счёт координационного связывания периферийных уретановых групп. В результате оказывается значительное влияние на

надмолекулярную организацию полиуретанов, на комплекс их физико-механических свойств и электрофизические характеристики.

**Ключевые слова:** полиуретаны, термоэластопласты, металлокомплексная модификация, электрофизические свойства, физико-механические свойства.

## METAL COMPLEX MODIFICATION OF POLYURETHANE THERMOPLASTIC ELASTOMERS TO INFLUENCE THEIR TECHNICAL PROPERTIES

Duong Thi Mai<sup>1</sup>, Sazonov Oleg O.<sup>2</sup>

Research adviser, dr. chem. sciences, professor I.M. Davletbaeva

<sup>1,2</sup> KNRTU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> duongthimai09091995@gmail.com

Based on  $\text{CuCl}_2$  and  $\text{N,N}'$ -diethylhydroxylamine (DEHA), copper coordination compounds were obtained that are active in reactions with and urethane groups. It was established that when segmented polyurethanes interact with a metal complex system based on  $\text{CuCl}_2$  and DEHA, hard blocks become larger due to the coordination binding of peripheral urethane groups. As a result, there is a significant impact on the supramolecular organization of polyurethanes, on the complex of their physical and mechanical properties and electrical characteristics.

**Keywords:** polyurethanes, thermoplastic elastomers, metal complex modification, electrophysical properties, physical and mechanical properties.

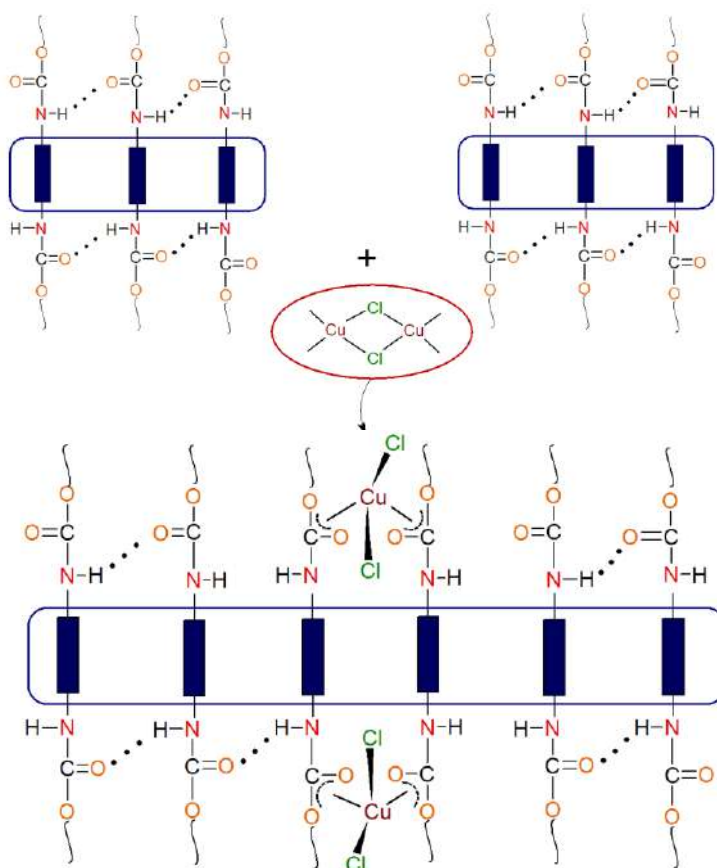
Полиуретаны представляют собой полимеры, на базе которых можно создать материалы с широким диапазоном эксплуатационных показателей. Благодаря своим уникальным свойствам полиуретаны находят широкое применение в различных отраслях промышленности [1]. Они используются в производстве уплотнительных материалов, клеев, покрытий, пеноматериалов, теплоизоляционных пленок и многих других продуктов [2]. Один из способов, позволяющих влиять на химическое строение и морфологию полиуретанов, связан с использованием для их синтеза координационных соединений переходных металлов.

Координационно-связанные полиуретаны, полученные с использованием ароматических диизоцианатов, олигоэфирдиолов и соединениями переходных металлов обладают, как правило, повышенной эластичностью и пониженной температурой стеклования.

Известные в настоящее время способы введения металлокомплексных соединений в полиуретановую матрицу основаны на использовании в качестве растворителей диметилформаида и

диметилсульфоксида. Применение таких сильнополярных сред обусловлено необходимостью предварительного растворения солей металлов для создания возможности последующего их введения в уретанобразующую систему. Практически во всех работах отмечается, что характеристическая вязкость металлосодержащих полиуретанов в диметилсульфоксиде при 50 °С очень низкая по сравнению с аналогами, не содержащими металлы. Это свидетельствует о том, что ионные звенья в полимерной цепи диссоциируют в растворе на мелкие низкомолекулярные фрагменты.

В настоящей работе показано, что при взаимодействии сегментированных полиуретанов, полученных с использованием полифурита и дифенилметандиизоцианата с металлокомплексной системой на основе  $\text{CuCl}_2$  и ДЭГА происходит формирование координационно-связанных жестких блоков (см. рисунок), оказывающих влияние на комплекс их физико-механических свойств. Механизм повышения электропроводности обусловлен переносом носителей заряда путём перескока электронов с одного координационно-связанного звена на другое посредством сложноэфирных составляющих уретановой группы.



Укрупнение жестких блоков за счёт координационного связывания сегментированных полиуретанов.

Установлено, что  $\text{CuCl}_2$  взаимодействует с ДЭГА в эквимольных количествах. Структура ДЭГА в ходе окисления с участием  $\text{CuCl}_2$  претерпевает значительные изменения в ходе реакции, превращаясь в нитрон. Изменение удельного объёмного электрического сопротивления металлокомплексной системой на основе  $\text{CuCl}_2$  и ДЭГА по мере роста содержания в её составе  $\text{CuCl}_2$  до эквимольного с ДЭГА содержания является аддитивным и сопровождается уменьшением его значений в 1000 раз. Сделано заключение, что механизм переноса заряда в системе  $\text{CuCl}_2$  – ДЭГА не является ионным.

### Источники

1. Das A., Mahanwar P. A brief discussion on advances in polyurethane applications // Adv. Ind. and Eng. Polymer Res. –2020. – Vol. 3. – P. 93–101.
2. Wang C., Mu C., Lin W, Xiao H. Functional-modified polyurethanes for rendering surfaces antimicrobial: An overview // Advances in Colloid and Interface Science – 2020. – Vol. 283. – P. 102235.

УДК 54.02

## ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ

Котомкина Даяна Олеговна

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Бунтин Артем Евгеньевич

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

STK.M1ch@gmail.com

В данной работе рассмотрено исследование, проводимое путем создания образцов гипотетических материалов имеющих три изменяемых параметра и различную структуру в соответствии с аналитически заданными корреляционными функциями. После выбора подходящего метода на основе входных данных, проводится анализ расчета эффективной проницаемости путем решения соответствующих уравнений.

**Ключевые слова:** корреляционные функции, материаловедение, структура материала, проницаемость.

# APPLICATION OF CORRELATION FUNCTIONS IN MODELING THE STRUCTURE OF MATERIALS

Kotomkina Dayana Olegovna  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
STK.M1ch@gmail.com

In this paper, we consider a study based on the creation of samples of hypothetical materials of various structures according to analytically specified correlation functions with three variable parameters. Based on the input data, an appropriate method is selected and the calculation of the effective permeability based on the solution of the equations is analyzed.

**Keywords:** correlation functions, materials science, material structure, permeability.

В материаловедении существует важная задача - осмысленное выявление связей между структурой материалов и их свойствами, для разработки микроструктур, обладающих конкретными характеристиками и пригодными для определенных условий эксплуатации[1].

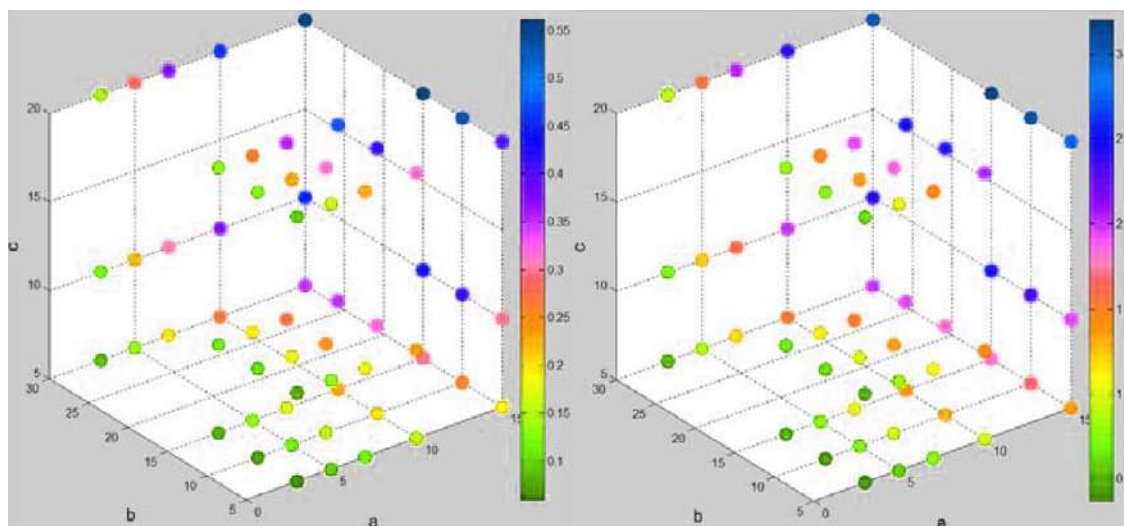
Имеется ряд методов, которые позволяют получить информацию о структуре материала в двух- и трехмерных измерениях [2,3]. Метод Yeong-Torquato представляет уникальный подход, поскольку он основан на описании двумерной микроструктуры с использованием корреляционной функции, после чего случайная трехмерная структура модифицируется с использованием алгоритма оптимизации "отжиг" до совпадения функции с экспериментальной [4]. Такой подход позволяет провести процедуру реконструкции на основе заданной гипотетической функции, а не только экспериментально полученной.

Для описания многофазных сред, таких как кластерная, линейная, пор по размерам и другие, могут быть применены различные корреляционные функции, включая множество разнообразных вариантов. В рассматриваемом исследовании [5] для сборки использовались аналитически заданные корреляционные функции, полученные путем параметризации уравнения:

$$f(r) = \alpha_1 \exp\left(-\frac{r}{a}\right) + \alpha_2 \exp\left(-\frac{r}{b}\right) \cos(qr + \psi) + \alpha_3 \begin{cases} (1 - r/c)^2, 0 \leq r \leq c, \\ 0, r > c. \end{cases}$$

В работе фиксируют данные коэффициенты  $\alpha$ . В результате, имеется некоторое количество различных функций моделирования структуры материалов с желаемыми свойствами.

Графическое представление трех параметров в виде графика полученных данных в пространстве (см. рисунок), позволяет увидеть возможность настройки параметров, которые описаны функцией, с учетом заданных значений проницаемостей и линейных размеров пор.



Эффективная проницаемость конструируемой среды для образцов с определенной пористостью зависит от параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$ , определенной аналитической функцией.

0.6 (справа) и 0.4 (слева)

Подробный анализ воздействия параметров функции показывает, что увеличение всех трех параметров приводит к увеличению эффективной проницаемости. Это подтверждает интуитивное предположение, которое возникает при изучении создаваемых структур – увеличение всех трех параметров приводит к увеличению линейных размеров каждой из фаз.

Исследование показывает, что настройка параметров заданной аналитической функции может привести к созданию структур с желаемым поровым строением и заданным значением проницаемости. Это может быть полезно для решения разнообразных фундаментальных и практических задач в области материаловедения и смежных наук.

### Источники

1. J.A. Quiblier. A new three-dimensional modeling technique for studying porous media // Journal of Colloid and Interface Science, 1984, v.98, p.84-102.



2. В.И. Осипов, В.Н. Соколов, Н.А. Румянцева. Микроструктура глинистых пород. – М.: Недра, 1989, 211 с.

3. К.М. Герке, М.В. Карсанина, Е.Б. Скворцова, Описание и реконструкция строения порового пространства почвы с помощью корреляционных функций // Почвоведение, 2012, №9, с.962-973.

4. Y. Jiao, F.H. Stillinger, S. Torquato. Modeling heterogeneous materials via two-point correlation functions. II. Algorithmic details and applications // Phys. Rev. E., 2008, 77: 031135.

5. М.В. Карсанина, К.М. Герке, Р.В. Васильев Моделирование структуры материалов, обладающих желаемыми свойствами, с помощью корреляционных функций // Математическое моделирование, 2015, №4, с.50-63.

УДК 541.64:66.095.26

## СИНТЕЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ МИКРОПОРИСТЫХ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ

Ли Екатерина Дмитриевна<sup>1</sup>, Давлетбаев Руслан Сагитович<sup>2</sup>, Сазонов Олег Олегович<sup>3</sup>

Науч. рук. д-р. хим. наук, профессор Давлетбаева И.М.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>katystayls@gmail.com

На основе 2,4-толуилендиизоцианата и терминированных гидроксильными и калий-алкоголятными группами сополимеров оксидов этилена и пропилена синтезированы микропористые блок-сополимеры (ОБС). Для повышения сорбционной ёмкости ОБС, в процессе их синтеза были использованы наноразмерные комплексы Cu(II) с органоамещёнными кремнезёмами. Изучено влияние координационно-связанных ионами меди (II) органоамещённых кремнезёмов на сорбционные свойства мембран на основе ОБС. Помимо этого, путём нанесения селективного слоя ОБС на поверхность полиэтилентерфталатной подложки были получены тест-системы для их использования в качестве аналитических сенсоров.

**Ключевые слова:** мембраны, органоамещённые кремнезёмы, модификация, микропористые блок-сополимеры, сорбционная ёмкость, аналитические тест-системы.

# SYNTHESIS OF ANALYTICAL SENSORS BASED ON MICROPOROUS BLOCK COPOLYMERS

Lee Ekaterina D.<sup>1</sup>, Davletbaev Ruslan S.<sup>2</sup>, Sazonov Oleg O.<sup>3</sup>

Research adviser, dr. chem. sciences, professor Davletbaeva I.M.

<sup>1</sup>KNRTU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>katystayls@gmail.com

Microporous block copolymers (OBC) have been synthesized based on 2,4-toluene diisocyanate and copolymers of ethylene and propylene oxides terminated with hydroxyl and potassium alcohol groups. To increase the sorption capacity of OBC, nano-sized Cu(II) complexes with organo-substituted silicas were used in the process of their synthesis. The influence of organo-substituted silicas coordinated by copper (II) ions on the sorption properties of membranes based on OBC was studied. In addition, by applying a selective OBC layer to the surface of a polyethylene terephthalate substrate, test systems were obtained for use as analytical sensors.

**Keywords:** membranes, organo-substituted silicas, polysiloxanes with polyoxyethylene branches, sorption capacity, analytical test systems.

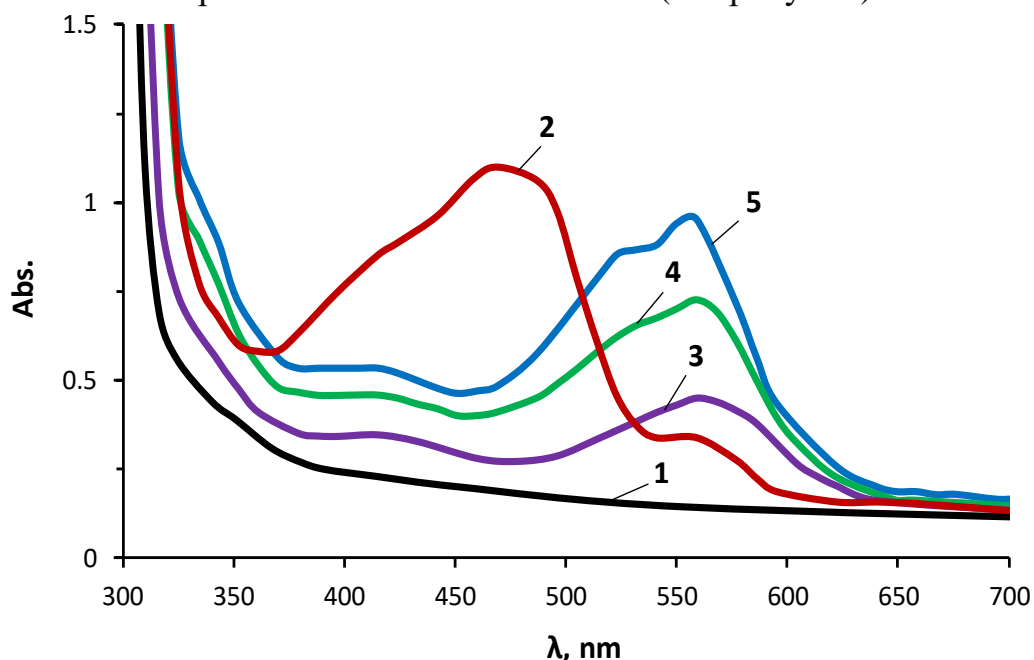
В настоящее время сенсорные мембраны имеют широкое применение для определения катионов и анионов. Строение и морфология мембраны являются той основой, которая обуславливает быстрый ионный обмен на границе раздела фаз мембрана / раствор. Блок-сополимеры, образованные двумя или более гомополимерными фрагментами, соединенными ковалентными связями, и представляющие собой специфическую категорию среди полимерных материалов, представляют высокий интерес и многообещающую перспективу их использования в качестве сенсорных мембран. Одним из перспективных направлений, в рамках которого могут быть успешно использованы оптически прозрачные нанопористые полимеры – это тест-методы определения различных веществ. В практике анализа более удобными могут быть сенсоры и чувствительные элементы на оптически прозрачных полимерных подложках, что позволяет визуально наблюдать изменение окраски. К числу потенциальных потребителей аналитических тест-систем относятся инженерные и исследовательские компании, клиничко-диагностические лаборатории.

Целью данной работы является синтез нанопористых оптически прозрачных блок-сополимеров (ОБС), модифицированных устойчивыми к самоконденсации кремнезёмами, содержащими полиоксиэтиленовые ответвления (ASiP).

На основе 2,4-толуилендиизоцианата и terminated гидроксильными и калий-алкоголятными группами сополимеров оксидов этилена и пропилен синтезированы микропористые блок-сополимеры (ОБС). Особенностью строения ОБС является существование в их структуре копланарных полиизоцианатных блоков ацетальной природы (О-полиизоцианаты). Для повышения сорбционной ёмкости ОБС, в процессе их синтеза были использованы наноразмерные комплексы Cu(II) с органозамещёнными кремнезёмами. Было установлено, что использование ASiP позволяет улучшить микрофазовое разделение ОБС, а также проводить синтез при комнатных условиях без охлаждения реакционной смеси до 0°C. Использование ASiP позволяет также увеличить выход О-полиизоцианатных блоков и повысить сорбционную ёмкость ОБС. [1]

По результатам электронных спектров было установлено, что использование ASiP, полученного с использованием 0,5 мас.% хлорида Cu(II) оказывает наилучшее влияние на повышение сорбционных свойств оптически прозрачных блок-сополимеров.

Для создания аналитических сенсоров на основе микропористых блок-сополимеров получены тест-системы путём (РОБС) нанесения селективного слоя ОБС на поверхность полиэтилентерфталатной плёнки. Установлено, что электронные спектры аналитического реагента PAN и продуктов комплексообразования PAN с CuSO<sub>4</sub>, иммобилизованных на ОБС и на РОБС проявляют заметные отличия (см. рисунок).



Электронные спектры РОБС (1), РОБС с иммобилизованным PAN (2), иммобилизованные на РОБС комплексы PAN с CuSO<sub>4</sub> с концентрациями 0.001 (3), 0.01 (4), и 0.1 (5) мас.%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 23-23-10012.

### **Источники**

1. Davletbaeva I.M., Faizulina Z.Z., Li E., Sazonov O.O., Efimov S.V., Klochkov V.V., Arkhipov A.V., Davletbaev R.S. Silicas with Polyoxyethylene Branches for Modification of Membranes Based on Microporous Block Copolymers // Membranes 2023. 13. 642. DOI: 10.3390/membranes13070642

УДК 620.22

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КУЗОВОВ АВТОМОБИЛЕЙ**

Лисовская Полина Вадимовна

Науч.рук. кан. хим. наук, доц. Низамов Айдар Азатович

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

lisovskay@yandex.ru

В данной работе рассмотрены перспективные материалы, применяемые для изготовления кузовов с целью улучшения эксплуатационных характеристик автомобилей и их экологической безопасности. В частности, проведен анализ преимуществ и недостатков деформируемых магниевых сплавов и углепластиков, используемых для производства кузовных элементов автомобилей.

**Ключевые слова:** автомобилестроение, кузов автомобиля, углеродная ткань, деформируемые магниевые сплавы, углепластики.

## **ADVANCED MATERIALS FOR CAR BODY MANUFACTURING**

Lisovskaya Polina V.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

lisovskay@yandex.ru

In this paper, promising materials used for the manufacture of bodies considered in order to improve the performance characteristics of cars and their environmental safety. In particular, the advantages and disadvantages of deformable magnesium alloys and carbon fiber plastics used for the production of car body parts analyzed.

**Keywords:** car body, car body, carbon fabric, deformable magnesium alloys, carbon fiber plastics.

В современном автомобилестроении используются различные по своей природе материалы, одним из которых являются железоуглеродистые сплавы. Сплавы на основе железа применяются в автомобилестроении уже на протяжении многих десятилетий, что обусловлено с их хорошим комплексом механических свойств в сочетании с их доступностью и относительно низкой стоимостью. Однако вследствие всевозрастающих требований к экологической безопасности и экономичности автомобилей возникает необходимость использования для производства кузова автомобиля материалов с более высоким уровнем характеристик, а также разработки технологий по получению из таких материалов деталей кузова.

В этой связи в качестве примера можно привести так называемую технологию трансферного формования композитов (RTM), при котором кузовные элементы изготавливают путем пропитки смолой уложенных в закрытой форме в несколько слоев углеродных тканей. При этом смола подается в форму под высоким давлением. После заполнения проводится отверждение смолы в нагретой до определенной температуры форме. Применение технологии RTM дает возможность массово производить детали кузова из углепластика, поскольку она сочетает в себе преимущества дорогих и более доступных технологий производства [1].

Другим перспективным направлением, позволяющим заметно уменьшить массу автомобиля, является использование для изготовления кузова деформируемых магниевых сплавов, плотность которых на 35 и 75% ниже, чем у алюминиевых сплавов и стали соответственно. Однако пока широкое применение магниевых сплавов в кузовостроении ограничивается их высокой стоимостью, а также недостаточным уровнем развития технологий по получению из таких сплавов элементов кузова. Для решения последнего в ФРГ реализуется программа «Магний в автомобилестроении», включающая в себя комплекс научно-исследовательских работ по изучению и разработке технологий изготовления деталей автомобилей с использованием деформируемых сплавов марок AZ31 и AZ80 [2].

Таким образом, в будущем возможность снижения массы автомобиля с целью уменьшения расхода топлива и вредных выбросов, по-видимому, в значительной степени будет обеспечена путем массового использования для производства кузовов автомобилей углепластиков и сплавов на основе магния.

## Источники

1. Горбунов А.В., Вертенко А.Г., Курамшин Р.Р. и др. Перспективы развития производства высокопрочных автолистовых сталей // Сталь, 2012. № 2. С. 113-115.

2. Долматов М.С., Морозов Л.А., Павлов А.Д., Алтухов А.Ю. Анализ современных материалов и сплавов для изготовления кузова автомобилей // Актуал. вопросы науки, нанотехнологий, производства: сборник научных статей 2-й Междун. научн.-практ. конфер. Курск, 2022. С. 139-142.

УДК 620.19

## НОВЫЕ МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ОТ КОРРОЗИИ

Халимова Камиля Асфировна<sup>1</sup>, Метлёва Дарья Алексеевна<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Низамов Айдар Азатович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>kamilya.km@yandex.ru, <sup>2</sup>metlevadasha@gmail.com.

В статье представлен обзор проблемы коррозии металлов и предлагает различные современные методы защиты металлических конструкций. В тексте выявлены следующие способы защиты от коррозии: плазменный метод, ионный (вакуумно-плазменный) метод, полимерное покрытие и использование наноструктурированных материалов. Каждый метод кратко описан, а также указывается, каким образом он может предотвратить или замедлить процесс коррозии металла.

**Ключевые слова:** коррозия металлов, окисление атомов, защита от коррозии, плазменный метод, ионный метод, полимерное покрытие, наноструктурированные материалы.

## NEW METHODS FOR PROTECTING METAL MATERIALS FROM CORROSION

Khalimova Kamilya A. <sup>1</sup>, Metleva Darya A. <sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>kamilya.km@yandex.ru, <sup>2</sup>metlevadasha@gmail.com

Provides an overview of the problem of metal corrosion and suggests various modern methods for protecting metal structures. The text identifies the following methods of

corrosion protection: plasma method, ion (vacuum-plasma) method, polymer coating and the use of nanostructured materials. Each method is briefly described and how it can prevent or slow down the process of metal corrosion.

**Keywords:** corrosion of metals, oxidation of atoms, corrosion protection, plasma method, ion method, polymer coating, nanostructured materials.

Коррозия металлов - крайне опасная и очень дорогостоящая проблема. Она приводит к нарушению целостности зданий и мостов, что приводит к их обрушению [1].

Стабильность работы инженерных конструкций под угрозой, например, это касается подземных водопроводов, которые могут выйти из строя из-за коррозии. Помимо потерь в энергии, также возможен риск потери металлических материалов [2-3].

Механизм коррозии и её процесс в значительной степени определяются окружающей средой, в которой коррозия протекает.

Наиболее распространённые виды её в результате химических реакций. Коррозия является химической, если после разрыва металлической связи атомы металла непосредственно соединяются химической связью с теми атомами или группами атомов, которые входят в состав окислителей, отнимающих валентные электроны металла. К примеру, один из процессов, который будет разобран - окисление атомов на металлической поверхности.

Применение промышленных материалов требует учёта структуры металлических изделий. По мнению В. В. Скорчеллетти, термин «коррозия» имеет важное инженерное значение. Изучение коррозии является междисциплинарной областью. Для понимания коррозионных процессов необходимо представление о химических и особенно электрохимических процессах. Учитывая, что структура и состав металла оказывают влияние на его коррозионное поведение, важно обладать базовыми знаниями по металлургии [3].

Детальное знание причин возникновения и механизмов коррозии необходимо для эффективной борьбы с этим явлением. Для борьбы с вредной коррозией разрабатываются новые эффективные способы защиты металлических конструкций благодаря современным технологиям и научным открытиям:

## Инновационные методы защиты от коррозии металлических материалов [2]

Название способа защиты от коррозии	Описание
Плазменный метод	Создание плазменного разряда, который изменяет физико-химические свойства поверхности металла, формируя тонкий защитный слой. Этот слой помогает предотвратить воздействие влаги и кислорода на металлическую поверхность, что замедляет процесс коррозии.
Ионный (вакуумно-плазменный) метод	Создание вакуума и плазменного разряда для модификации поверхности металла. Результатом этого процесса образуется тонкий и прочный защитный слой, который уменьшает воздействие влаги и кислорода на металл и, следовательно, замедляет процесс коррозии.
Полимерное покрытие	Специальное покрытие на основе полимеров создают защитную плёнку на поверхности, которая препятствует проникновению влаги и кислорода. Обладает хорошей адгезией к поверхности и обеспечивает дополнительный слой защиты.
Наноструктурированные материалы	Формирование материалов с уникальной микроструктурой на наномасштабе. Также может способствовать снижению процесса коррозии путем создания более устойчивой и защищенной поверхности, которая меньше подвержена окислению и другим процессам коррозии.

Изучение новых методов защиты от окисления металлических поверхностей является важной темой современной науки и техники. Коррозия является серьёзной проблемой, которая приводит к повреждению материалов уменьшению их срока службы и ухудшению характеристик изделий.

### Источники

1. Уникальные нанопокрyтия защищают металлы от коррозии в 3000 раз лучше аналогов Научный микроблог - ГНЦ РФ ЦНИИ РТК // Центральный научно-исследовательский институт робототехники и технической кибернетики [Электронный ресурс]. <https://rtc.ru/article/unikalnye-nanopokrytiya-zashishayut-metally-ot-korrozii-v->



3000-raz-luchshe-analogov

2. Защита металлов от коррозии: современные технологии покрытий [Электронный ресурс]. <https://www.metalbulletin.ru/a/AB> (дата обращения: 06.03.24).

3. Лучкин, Р.С. Коррозия и защита металлических материалов (структурные и химические факторы) // учебно-методическое пособие. Тольятти, ТГУ, 2008.

УДК 678

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ 3D- ПЕЧАТИ

Мухутдинов Камиль Раисович <sup>1</sup>, Низамиев Данил Рустемович <sup>2</sup>,  
Хамитов Айнур Радикович <sup>3</sup>

Науч. рук. к.х.н., доц. Низамов Айдар Азатович

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>79872359491mk@gmail.com, <sup>2</sup>imaiden2004@gmail.com, <sup>3</sup>ainurkhamitov322@gmail.com

В статье рассматривается процесс изучения и создания полимерных композиционных материалов для 3D-печати. Акцент делается на их основных свойствах, тенденциях развития и успешных применениях для прогнозирования перспективных направлений в этой быстро развивающейся области.

**Ключевые слова:** технологии 3D-печати, полимерные композиционные материалы, моделирование, армирование, свойства, характеристики, промышленность.

## PROMISING AREAS OF DEVELOPMENT OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS FOR 3D PRINTING

Mukhutdinov Kamil Raisovich <sup>1</sup>, Nizamiev Danil Rustemovich <sup>2</sup>,  
Khamitov Ainur Radikovich <sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>79872359491mk@gmail.com, <sup>2</sup>imaiden2004@gmail.com, <sup>3</sup>ainurkhamitov322@gmail.com

The article discusses the process of studying and creating polymer composite materials for 3D printing. The focus is on their basic properties, development trends and successful applications for forecasting promising directions in this rapidly developing field.

**Keywords:** 3D printing technologies, polymer composite materials, modeling, reinforcement, properties, characteristics, industry.

Появление 3D-печати имело революционное воздействие на производство, предоставив возможность быстрого создания прототипов, сложного дизайна и персонализированного производства. Одним из материалов, способствующих этой инновации, являются полимерные композиционные материалы, отличающиеся улучшенными свойствами и адаптивностью.

Полимерные композиционные материалы объединяют полимеры с усилителями, такими как волокна или наночастицы, для улучшения механических свойств, таких как прочность, жесткость и термостойкость, при сохранении легкости и универсальности полимеров. Эти материалы могут быть созданы для конкретных целей путем настройки типа, количества и ориентации усиления, что приводит к значительным улучшениям по сравнению с традиционными материалами в плане долговечности, функциональности и эффективности производства [1].

Развитие полимерных композиционных материалов в 3D-печати сопровождается несколькими ключевыми тенденциями: инновации в материалах, оптимизация процесса, экологичность, индивидуализация и функциональность.

Инновации в материалах означают разработку новых композитных материалов с расширенными функциональными возможностями, такими как повышенная теплопроводность, электропроводность и способность к биологическому разложению, специально созданных для специализированных применений [2].

Оптимизация процесса включает достижения в области технологий 3D-печати, таких как моделирование методом наплавления (FDM) и селективное лазерное спекание (SLS), позволяющие более эффективно использовать уникальные свойства композитных материалов, повышая качество печати, точность и свойства материалов.

Внимание к экологичности обусловлено растущим интересом к устойчивым и поддающимся вторичной переработке композитным материалам, а также потребностью в более экологичных производственных процессах.

Использование гибкости дизайна 3D-печати позволяет создавать сложные композитные материалы нестандартной формы, объединяющие разнообразные функции в единой системе материалов, что открывает новые возможности в проектировании и производстве.

Различные отрасли промышленности успешно применяют полимерные композиционные материалы в процессах 3D-печати, что является ярким примером их универсальности и эксплуатационных преимуществ.

В аэрокосмической промышленности и автомобилестроении, использование легких и прочных композитных деталей значительно снижает вес автомобиля, повышая его экономичность и эксплуатационные характеристики [4].

В биомедицине, индивидуальные биосовместимые композитные имплантаты и протезы, адаптированные к анатомии пациентов, обеспечивают повышенный комфорт и функциональность.

В электронике, композитные материалы с электропроводящими свойствами используются для непосредственного изготовления компонентов с встроенными электрическими функциями, такими как датчики и схемы.

Использование композитных материалов для 3D-печати в строительстве позволяет создавать конструктивные элементы или даже целые здания с помощью крупномасштабной 3D-печати. Это открывает возможности для индивидуализации, сокращения отходов и повышения эффективности строительных процессов [3].

Разработка полимерных композиционных материалов для 3D-печати представляет собой инновационный рубеж, способный произвести революцию во многих отраслях промышленности. Они предлагают непревзойденные свойства материалов, гибкость дизайна и эффективность производства. Путем дальнейших исследований и разработок в этой области, мы сможем открыть еще более перспективные направления применения этих универсальных материалов, способствуя эволюции производства и дизайна изделий в эпоху цифровых технологий.

### **Источники**

1. Кордюкова, А. П. Перспективные направления развития полимерных связующих и полимерных композиционных материалов на их основе // Молодой ученый. 2022. № 30 (425). С. 1-4. URL: <https://moluch.ru/archive/425/94165/> (дата обращения: 08.03.2024).
2. Хубатхузин А. А., Алексеев А. Н., Бондарь В. С. Полимерные композиты как альтернатива традиционным материалам // Костюмология. 2022. Т. 7. № 4. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/12TLKL422.pdf>

3. Mahmood, A.; Perveen, F.; Chen, S.; Akram, T.; Irfan, A. Polymer Composites in 3D/4D Printing: Materials, Advances, and Prospects. *Molecules* 2024, 29(2), 319. <https://doi.org/10.3390/molecules29020319>

4. URL: [https://www.yaneuch.ru/cat\\_71/sovremennye-tendencii-razvitiya-polimernyh-i/527672.3373201.page4.html](https://www.yaneuch.ru/cat_71/sovremennye-tendencii-razvitiya-polimernyh-i/527672.3373201.page4.html) (дата обращения: 08.03.2024).

УДК 620.3

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Салимгараева Ильсина Ильгизаровна<sup>1</sup>, Гильмутдинова Камиля Раилевна<sup>2</sup>

Науч. руководитель кандидат химических наук, доцент Низамов Айдар Азатович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup> ilsina26032004@gmail.com, <sup>2</sup> kamilyagilmutdinova0801@gmail.com

В статье рассматриваются возможности использования наноматериалов для повышения эффективности процессов в теплоэнергетике. Рассматриваются различные виды наноматериалов, их свойства и способы применения в теплоэнергетики.

**Ключевые слова:** наноматериалы, теплоэнергетика, нанотрубки, эффективность.

## APPLICATION OF NANOMATERIALS IN THERMAL POWER ENGINEERING

Salimgarayeva Ilsina I.<sup>1</sup>, Gilmutdinova Kamilya R.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> ilsina26032004@gmail.com, <sup>2</sup> kamilyagilmutdinova0801@gmail.com

The article discusses the possibilities of using nanomaterial to increase the efficiency of processes in the thermal power industry. Various types of nanomaterial, their properties and methods of application in thermal power engineering are considered.

**Keywords:** nanomaterial, thermal power engineering, nanotubes, efficiency.

Наноматериалы представляют собой вещества, состоящие из частиц размером от 1 до 100 нанометров. Эти мельчайшие структуры обладают особыми свойствами, которые позволяют использовать их в разнообразных отраслях, включая теплоэнергетику.

Одним из самых важных применений наноматериалов в области теплоэнергетики является их использование для разработки новых

теплоизоляционных материалов. Наночастицы имеют значительный положительный эффект на теплоизоляционные свойства материалов, позволяя снизить потери тепла и увеличить эффективность систем отопления и охлаждения[1].

В теплоэнергетике в основном используются наноматериалы, такие как углеродные нанотрубки и графен.

Углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой полые цилиндры из слоев графита, которые сворачиваются в трубки с гексагональной организацией атомов углерода. Диаметр УНТ варьируется от одного до нескольких сотен нанометров, а их длина измеряется десятками микрон и постоянно увеличивается с развитием новых технологий производства. Эти структуры называются нанотрубками из-за их малых поперечных размеров.

Тепловая энергетика может использовать углеродные нанотрубки для улучшения теплопередачи и теплопроводности. Нанонаполнители можно использовать для повышения теплопроводности жидкостей-теплоносителей или теплоизоляционных материалов благодаря их превосходной теплопроводной способности. Теплообменники из углеродных нанотрубок могут быть использованы для повышения эффективности передачи тепла между различными теплоносителями. Также они могут быть использованы в теплоизоляционных материалах для повышения эффективности изоляции и снижения потерь тепла. Использование углеродных нанотрубок в солнечных тепловых коллекторах может повысить эффективность сбора и передачи тепла от солнечных панелей. В теплообменниках и тепловых трубках их можно использовать для повышения эффективности нагрева [2].

Графен состоит из атомов углерода в монослое и обладает отчетливыми двумерными свойствами. Производство графена путем микромеханического расслоения – это простой процесс расщепления кристаллического графита. Метод отделения листов графена от кристаллического графита предполагает либо аккуратное прижатие мелких кристаллов графита друг к другу, либо использование клейкой ленты.

Тепловая энергетика может выиграть от использования графена благодаря его исключительным механическим свойствам и высокой теплопроводности. Его можно использовать в качестве теплопроводящих, теплоизоляционных материалов для рекуперации энергии или термоэлектрических преобразователей для преобразования электрической энергии из тепла в электричество. На электростанциях высокая теплопроводность графена может повысить эффективность процессов

теплообмена; это снизит потребление энергии и повысит экологические показатели (или потенциальную выгоду) от производства энергии. Кроме того, термоэлектрические преобразователи могут использовать свои функциональные возможности для создания более эффективных методов преобразования тепловой энергии в электрическую, что помогает снизить энергопотребление и минимизировать выбросы загрязняющих веществ [3].

Тепловая энергетика может использовать наноматериалы для создания более эффективных и экологически чистых систем отопления, охлаждения и производства энергии. Например, дополнительные исследования и разработки в этой области могут привести к созданию новых решений для повышения энергоэффективности и смягчения воздействия на окружающую среду.

### **Источники**

1. Энергобезопасность и энергосбережение: Научно-технический журнал. – М.: Московский институт энергобезопасности и энергосбережения. 2013. 2008. №2. 68 с. – URL: <https://rucont.ru/efd/225810> (дата обращения: 28.03.2024).

2. Наноматериалы и нанотехнологии в энергетике: монография: в 2 т. Т. I. / под ред. Э.В.Шамсутдинова и О.С.Зуевой. – Казань: Казан, гос. энерг. ун-т. 2014. 399 с.

3. Мулюков Р.Р., Баимова Ю.А. Углеродные наноматериалы: учебное пособие – Уфа: РИЦ БашГУ, 2015. 160 с. ISBN 978-5-7477-3825-6.

УДК 620.22

## **МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛООБМЕННИКОВ**

Хусаинова Ляйсан Ильдаровна <sup>1</sup>, Алина Игоревна Тимонина <sup>2</sup>

Науч.рук. кан. хим. наук, доц. Низамов Айдар Азатович

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>khusainovallaysan11@gmail.com, <sup>2</sup>lina.timonina.12@gmail.com

В работе рассмотрены различные материалы и их характеристики, используемые для изготовления теплообменников. Освещены вопросы технологии сварки, пайки и склеивания, используемые для соединения различных элементов теплообменника. Кроме того, приведены данные по методам испытания и контроля качества теплообменников.

**Ключевые слова:** теплообменники, материалы, металлы, сплав, нанокompозиты.

## MATERIALS AND PRODUCTION TECHNOLOGIES FOR HEAT EXCHANGERS

Khuzainova Laysan I.<sup>1</sup>, Timonina Alina I.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>khusainovalllaysan11@gmail.com, <sup>2</sup>lina.timonina.12@gmail.com

The paper considers various materials and their characteristics used for the manufacture of heat exchangers. The issues of welding, soldering and gluing technology used to connect various elements of the heat exchanger highlighted. In addition, data on the methods of testing and quality control of heat exchangers provided.

**Keywords:** heat exchangers, materials, metals, alloys, nanocomposites.

Теплообменники - ключевые компоненты в различных технических системах, играющие решающую роль в передаче тепла между средами. Изучение материалов и технологий, применяемых в их производстве, становится все более актуальным. Эффективность, надежность и экономичность работы теплообменников тесно связаны с выбором оптимальных материалов и применяемых технологий [1].

Материалы, используемые для производства теплообменников должны обеспечивать не только высокую теплопроводность и достаточный уровень прочности, но и стойкость к коррозии и агрессивным средам. Традиционно для этого применяются нержавеющая сталь, алюминий, медь и их сплавы. Нержавеющая сталь, например, обладает высокой коррозионной стойкостью и механической прочностью, что делает её одним из наиболее распространенных материалов для изготовления пластинчатых теплообменников [2].

В последние годы также активно исследуются и применяются новые материалы, к которым можно отнести титан, титановые сплавы и нанокompозиты. Эти материалам сочетают в себе хорошие теплофизические характеристики и высокую коррозионную стойкость.

Один из распространенных способов изготовления теплообменников заключается в штамповке пластин и их последующая пайка. При этом методе могут возникнуть дефекты, связанные с неоднородностью покрытия металлических пластин слоем латуни, что требует разработки более эффективных технологий.

Таким образом, разработка новых материалов с высоким комплексом характеристик и технологий, используемые для изготовления теплообменников играют ключевую роль в увеличении их надежности и долговечности.

### **Источники**

1. Аронсон К.Э., Блинков С.Н., Брезгин В.И. и др. Теплообменники энергетических установок: учебное пособие. Екатеринбург: Сократ, 2003. 964 с.

2. Бажан П.И., Канавец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение, 1989. 365 с.

УДК 620.22

## **СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ТЕРМООБРАБОТКИ АЛЮМИНИЯ**

Чернов Давид Владимирович

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Низамов Айдар Азатович

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

davidchernov16@gmail.com

Современные и перспективные методы термообработки алюминия представляют собой ряд технологий, направленных на изменение физических и химических свойств данного металла. Термообработка позволяет улучшить такие характеристики алюминия, как прочность, твердость, пластичность, устойчивость к коррозии и окислению, а также регулировать его электрические и тепловые свойства.

**Ключевые слова:** термообработка, алюминий, методы термообработки.

## **MODERN AND PROMISING METHODS OF HEAT TREATMENT OF ALUMINUM**

Chernov David V.

Scientific advisor Nizamov Aidar A.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

davidchernov16@gmail.com



Modern and promising methods of heat treatment of aluminum are a number of technologies aimed at changing the physical and chemical properties of this metal. Heat treatment can improve such characteristics of aluminum as strength, hardness, ductility, resistance to corrosion and oxidation, as well as regulate its electrical and thermal properties.

**Keywords:** heat treatment, aluminum, heat treatment methods.

К наиболее распространенным методам термообработки относятся закалка, отжиг, старение, криогенная обработка и термомеханическая обработка, применяющиеся в зависимости от требований, предъявляемых к алюминию. Например, закалка используется для увеличения прочности и твердости, отжиг – для снятия напряжений и улучшения пластичности, старение – для стабилизации структуры и уменьшения остаточных напряжений [1].

Однако с развитием технологий появляются и новые методы термообработки, которые позволяют получить еще более высокие характеристики алюминия. Одним из таких методов является электроискровая обработка, которая заключается в воздействии на металл электрических разрядов. Этот метод позволяет создать упрочненный слой на поверхности алюминия, что повышает его износостойкость и коррозионную стойкость.

Электроискровая обработка алюминия (или электроискровая обработка металлов в целом) - это метод обработки поверхности металла, при котором используются высокочастотные электрические импульсы для удаления окислов, загрязнений и других нежелательных элементов с поверхности металла [2].

Преимущества электроискровой обработки алюминия:

1. Высокая точность: этот метод позволяет очищать поверхность алюминия с высокой точностью и контролем, что особенно важно для деталей со сложной геометрией.

2. Безопасность: электроискровая обработка не использует химические растворы или агрессивные вещества, что делает ее более безопасной для операторов и окружающей среды.

3. Высокая производительность: этот метод является относительно быстрым и эффективным, что позволяет обрабатывать большое количество деталей за короткое время.

Недостатки электроискровой обработки алюминия:

1. Тепловое воздействие: при электроискровой обработке может наблюдаться нагрев поверхности металла, ведущий к возможному изменению его структуры и свойств.

2. Необходимость специального оборудования: для проведения электроискровой обработки требуется специализированное оборудование, что может быть дорого и требовать дополнительных инвестиций.

3. Ограничения по материалам: некоторые материалы могут быть менее подходящими для электроискровой обработки из-за их химической структуры или других особенностей.

Для термообработки алюминия также используется плазма, который может быть эффективным способом изменения структуры и свойств алюминия. В процессе плазменной термообработки алюминия металл подвергается высоким температурам в плазменной среде, что позволяет изменить его микроструктуру и свойства.

Преимущества использования плазмы для термообработки алюминия:

1. Высокие температуры: плазменная среда создает очень высокие температуры, что позволяет проводить быструю и эффективную термообработку алюминия.

2. Улучшение свойств: плазменная термообработка может улучшить механические свойства алюминия, такие как прочность, твердость, усталостная стойкость и другие.

3. Контроль процесса: плазменная термообработка обеспечивает более точный контроль параметров обработки, что позволяет достичь желаемых результатов.

Недостатки использования плазмы для термообработки алюминия:

1. Высокая стоимость оборудования.

2. Особенности процесса: проведение плазменной термообработки требует определенных знаний и навыков.

3. Ограничения по размерам деталей: некоторые крупные детали сложно подвергнуть плазменной термообработке из-за ограничений размеров оборудования.

В целом, использование этих методов может быть эффективным для улучшения свойств металла, но требует внимательного подхода и учета особенностей процесса.

С развитием технологий появляются новые методы термообработки алюминия, такие как электроискровая обработка и использование плазмы. Выбор метода термообработки алюминия должен основываться на конкретных требованиях к изделию, его геометрии, свойствам и бюджету производства. Каждый метод имеет свои особенности, и правильный выбор поможет достичь оптимальных результатов при обработке алюминия.

## Источники

1. Величко С.А., Хасан И.Х. Влияние электроискровой обработки сплавов алюминия на физико-механические свойства получаемой поверхности // Материалы XXI научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. Саранск, 2017. Ч. 2. С. 30-37.

2. Николенко С.В., Разумова И.Н. Электроискровая обработка металлов // Техника и технологии машиностроения: материалы V Междунар. студ. науч.-практ. конф. Омск, 2016. С. 229-232.

УДК 539.215

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ШЛАКА ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РАФИНИРОВАНИЯ

Щелкунова Анна Юрьевна<sup>1</sup>, Морозов Никита Алексеевич<sup>2</sup>, Прохорова И.Е.<sup>3</sup>  
ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов  
<sup>1</sup>shannav65@gmail.com, <sup>2</sup>nik\_frost99@mail.ru

В настоящее время в сфере металлургической промышленности обострились проблемы, связанные со складированием шлаков и других отходов производства. Некоторые виды отходов сталеплавильного производства до сих пор не нашли применения. В данной работе представлены результаты исследования химического состава, дисперсности, СВЧ-обработки и термического влияния на шлак восстановительного периода.

**Ключевые слова:** шлак восстановительного рафинирования, СВЧ-обработка электромагнитного поля, электротермоудар, химический состав.

## STUDY OF PROPERTIES OF REDUCTION REFINING SLAG

Shchelkunova Anna Yu.<sup>1</sup>, Morozov Nikita A.<sup>2</sup>, Prokhorova I.E.<sup>3</sup>  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov  
<sup>1</sup>shannav65@gmail.com, <sup>2</sup>nik\_frost99@mail.ru

Currently, in the metallurgical industry, problems associated with the storage of slag and other production waste have become more acute. Some types of steelmaking waste have not yet found use. This paper presents the results of a study of the chemical composition, dispersity, microwave treatment and thermal effect on slag during the recovery period.

**Keywords:** reduction refining slag, microwave treatment of an electromagnetic field, electric thermal shock, chemical composition.

Одной из ключевых задач современных предприятий является решение проблемы переработки отходов черной металлургии. Наибольшим является выход доменных шлаков – на 1 тонну чугуна он составляет 0,5–0,7 тонн, наименьшим – при выплавке стали в электропечах 0,1–0,04 тонн [1].

Металлургические шлаки по своим физико-механическим свойствам не уступают природным материалам, используемым в строительстве, но в ряде случаев превосходят их по своим характеристикам. Сегодня применение металлургических шлаков стало одним из основных направлений утилизации.

Химический состав шлаков окислительного и восстановительного рафинирования существенно отличаются друг от друга. Окислительные шлаки содержат много оксидов железа и небольшое количество оксидов кальция, а шлаки восстановительного рафинирования наоборот, почти не содержат оксидов железа, но оксидов кальция, магния и алюминия в них очень много [2]. Исследование химического состава поможет понять свойства, а также определить область применения. Методом рентгенофазового анализа был установлен химический состав белого шлака, который показал высокое процентное содержание *Ca* и *Al*, при низком процентном содержании *Si*.

С целью определения изменения свойств дисперсности было проведено исследование влияния СВЧ-обработки образца и электротермоудара (см. рисунок 1). При термическом влиянии на материал можно наблюдать изменение степени дисперсности, что говорит об изменении механических свойств.

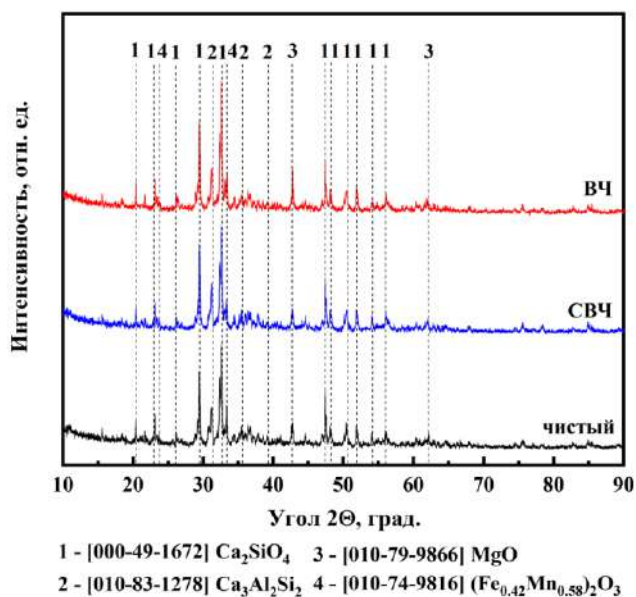


Рис. 1. Данные рентгенофлуоресцентного анализа шлака восстановительного периода без обработки, при сверхвысокочастотной (СВЧ) и высокочастотной (ВЧ) обработки

Методом электронной микроскопии зафиксировано изменение структуры, а именно после СВЧ–обработки структура шлака становится более рыхлая за счет объемного выделения влаги (см. рисунок 2). Тогда как после термоудара наблюдается агломерация и оплавление частиц с образованием более округлой формы, а также наблюдается пористая структура с размером пор от 3 до 15 нм [3].

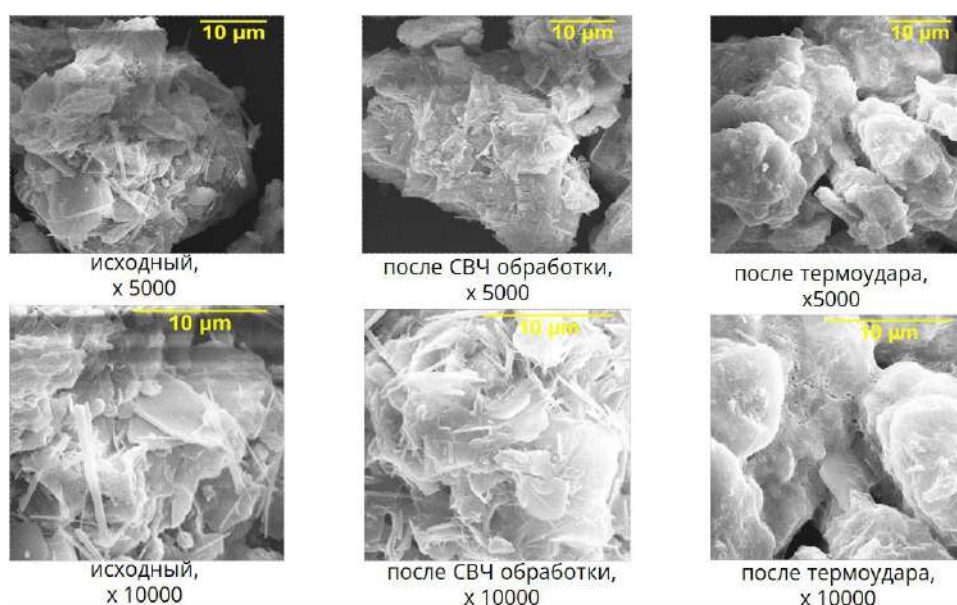


Рис. 2. Электронная микроскопия электротермического воздействия на структуру шлака восстановительного периода

Учитывая современные экологические требования, необходимо решение задач по внедрению технологических процессов, нейтрализующих неблагоприятное влияние шлаков на окружающую среду. В результате проведенных исследований был выявлен химический состав шлака восстановительного рафинирования, рассмотрено влияние СВЧ электромагнитного магнитного поля, а также электротермоудара.

### Источники

1. Пугин К.Г. Снижение экологической нагрузки при обращении со шлаками черной металлургии: монография // Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2008. – 316 с.
2. Шешуков О. Ю. Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства // Нижнетагильский машиностроительный техникум Уральского Федерального университета, Екатеринбург, 2017. – 208 с.

3. Щелкунова А.Ю. Эпоксидный композит, наполненный модифицированным белым шлаком // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения. – Нальчик: Принт Центр, 2023. – С. 181.

УДК 621.383

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРОВСКИТА В СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Юсупова Диляра Айратовна

Науч. рук. канд. хим. наук Низамов Айдар Азатович  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
yusupova\_d18@mail.ru

В работе рассматривается структура, преимущества и недостатки перовскита в качестве альтернативного материала в солнечных элементах.

**Ключевые слова:** перовскит, солнечный элемент, стабильность, эффективность.

## THE PROSPECT OF PEROVSKITE SOLAR CELLS

Yusupova Dilyara A.

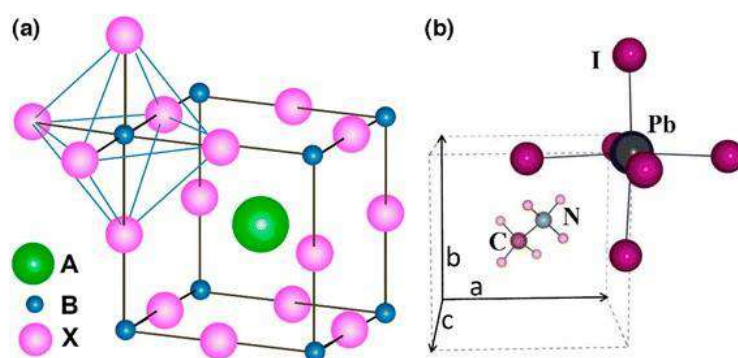
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
yusupova\_d18@mail.ru

The paper considers the structure, advantages and disadvantages of perovskite as an alternative material in solar cells.

**Keywords:** energy deficit, perovskite, prospects for solar energy, perovskite solar cells, stability, efficiency.

В настоящее время большая часть энергии генерируется с использованием угля, нефти и природного газа. В этой связи цель работы заключалась в рассмотрении перспектив применения перовскита в солнечных элементах. Если обратиться к истории, то перовскит с химической формулой  $\text{CaTiO}_3$  был обнаружен в 1839 году в Уральских горах России и назван в честь русского минералога Л. А. Перовского. Поэтому соединения  $\text{ABX}_3$  называются перовскитами (см. рисунок), в котором А – одновалентный катион, а В – второстепенный катион двухвалентного металла, а X – анион [1]. Перовскит обладает преимуществом в более низкой стоимости по сравнению с кремнием.

При попадании солнечного света на элемент происходит захват света перовскитом и последующее формирование экситонов и разделение их на электроны и дырки. Электроны движутся к аноду через электрон-транспортный слой, а дырки - к катоду через дырочно-транспортный слой, где они собираются и передаются во внешнюю цепь для генерации тока [2].



Структура перовскита  $ABX_3$  (a) и элементарная ячейка из перовскита  $MAPbI_3$  (б)

Начатое в 2012 году использование перовскитных солнечных элементов привело к повышению их эффективности с 9,7 до 25,2% менее чем за 10 лет. В тоже время существуют и проблемы, связанные со стабильностью перовскитовых элементов. Для улучшения стабильности перовскита было предложено заменить катионы [3].

Таким образом, использование перовскита взамен других материалов в солнечных элементах является перспективным подходом улучшения эффективности данных устройств. Вместе с тем необходимо продолжить исследования, направленные на разработку способов устранения недостаточной стабильности солнечных элементов из перовскита.

### Источники

1. Гордеев, Г. О. Перовскиты. Перспективы развития / Г. О. Гордеев, В. В. Васильев, Е. Н. Козырев // Научный альманах Центрального Черноземья. – 2022. – № 2-2. – С. 24-27.
2. Бадильо, П. Д. Перспективы перовскитных солнечных элементов на основе исследований моделей и характеристик / П. Д. Бадильо, А. Э. Дегтерев // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – 2023. – Т. 1. – С. 372-376.

3. N. Li, X. Niu, Q. Chen and H. Zhou, Towards commercialization: the operational stability of perovskite solar cells, Chem. Soc. Rev., 2020, 49, 8235–8286;

УДК 666.3.046.4

## **ВЛИЯНИЕ КРЕМНЕЗЕМИСТО-КАРБОНАТНОЙ ДОБАВКИ НА СПЕКАНИЕ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ**

Яппаров Тимур Радикович

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Женжурист Ирина Александровна

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

tim.yappar@gmail.com

В статье рассмотрены экспериментальные данные по использованию кремнеземисто-карбонатной составляющей на основе диатомита и мергеля для снижения водопоглощения и прочности керамического камня из пылеватого суглинка Татарстана. Рекомендован состав керамической композиции для получения керамического изделия с прочностью около 32-35 МПа и водопоглощением 7-8%.

**Ключевые слова:** пылеватый суглинок, доломит, диатомит, мергель, прочность, водопоглощение, клинкер.

## **INFLUENCE OF SILICA-CARBONATE ADDITIVE ON SINTERING OF CLAY RAW MATERIALS**

Yapparov Timur R.

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

tim.yappar@gmail.com

The article deals with experimental data on the use of silica-carbonate component based on diatomite and marl to reduce water absorption and strength of ceramic stone from dusty loam of Tatarstan. The composition of ceramic composition for obtaining ceramic product with strength of about 32-35 MPa and water absorption of 7-8% is recommended.

**Keywords:** dusty loam, dolomite, diatomite, marl, strength, water absorption, clinker.

Многие пылеватые суглинки Татарстана имеют в своем составе повышенное содержание карбоната кальция, отличаются повышенной чувствительностью к сушке, слабой связующей способностью и не пригодны для получения высокопрочной керамики, особенно получаемой



при достаточно низкой температуре спекания. Суглинки не могут быть рекомендованы для получения таких изделий как керамические плитки, высокомарочный кирпич, клинкерные изделия. Известна повышенная активность аморфного кремнезема при спекании с карбонатами кальция и возможность повышения прочности глинистой композиции за счет образования стеклофазы при низких температурах [1, 2].

Для получения высокой прочности материала необходима высокая дисперсность сырьевой композиции и кремнеземисто-карбонатной добавки, играет важную роль механическая переработка сырья [3] или использование высокодисперсной кремнеземисто-карбонатной добавки, в качестве которой можно использовать мергель и диатомит – природные кремнеземисто-карбонатно-глинистые высокодисперсные смеси.

В работе исследована возможность получения высокопрочной керамики на основе Хлыстовского суглинка Татарстана с кремнеземисто-карбонатной добавкой на основе мергеля Максимковского и диатомита меторождения Инза. Химический состав компонентов смеси приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сырья

Вид глинистого сырья	Химический состав, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Глина	66,6	12,14	5,08	1,72	1,97	3,31	0,12
Мергель	33,2	11,92	3,58	24,57	1,52	3,55	0,28
Диатомит	98,7	0,18	0,05	0,1	0,2	0,65	0,01

Для приготовления образцов компоненты глинистой смеси размалывали совместно в сухом состоянии до полного прохождения массы через сито № 1, увлажняли до формовочной влажности 18-20 % и формовали образцы кубики размером 20x20x20 мм. Образцы сушили до влажности 5-6 % и обжигали при 1000 °С. Образцы испытывали на водопоглощение и сжатие.

Результаты исследований показали, что при 10% добавке к глине смеси диатомита с мергелем в соотношении 1/2 при 1000 °С образцы показали наибольшую прочность и минимальное водопоглощение.

Результаты испытаний обожженных образцов приведены на рис. 1.

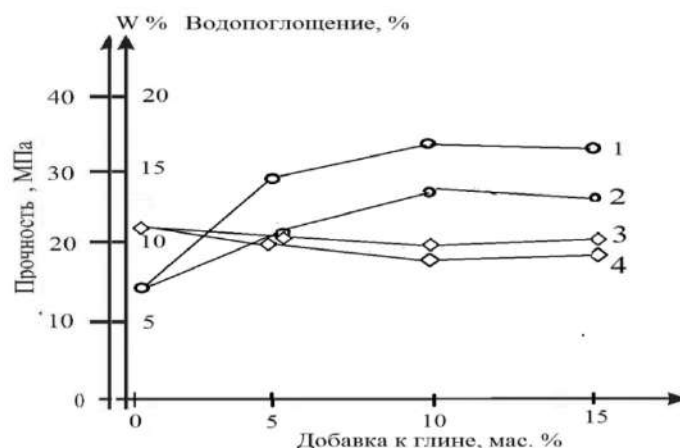


Рис. 1. Зависимость прочности и водопоглощения образцов, обожженных при 1000°C. Состав массы образцов с добавкой диатомит/мергель: 1/2 – кривые 1, 3 и 1/1 – кривые 2, 4.

Внешний вид образцов показан на рисунке 2. Бежевый цвет образцов, высокая прочность, низкое водопоглощение позволяет рекомендовать разработанный состав для получения лицевого кирпича и плитки.



Рис. 2. Внешний вид образцов с добавкой смеси диатомита с мергелем, мас. %: а – 0, б – 5, в – 10, г – 15 %.

В результате проведенных исследований было показано, что при добавке в глину Хлыстовского месторождения смеси диатомита с мергелем в соотношении 1/2 можно получить при температуре обжига 1000 °С хорошо спеченный глиняный камень бежевых тонов с высокой прочностью и низким водопоглощением и рекомендовать для получения керамики (кирпича или облицовочной плитки).

### Источники

1. Калинин А.М., Политов А.А., Калининна Е.В., Залкинд О.А., Болдырев В.В. Механохимическое взаимодействие карбоната кальция с диопсидом и аморфным кремнеземом //Химия в интересах устойчивого развития. 2006. № 4. С. 357-367.
2. Фасеева Г.Р., Салахов А.М., Нафиков Р.М., Хацринов А. И. Влияние карбонатсодержащих пород на свойства керамических

материалов //Вестник казанского технологического университета. 2010. № 8. С. 230-235.

3. Мустафин Н.Р., Ашмарин Г.Д. Клинкерная керамика на основе кремнеземистого сырья и техногенных отходов // Строительные материалы. 2006. №1. С. 32-34.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

#### СЕКЦИЯ 1. ЯДЕРНАЯ, ТЕПЛОВАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА

<b>Абрамов Р.А.</b> Использование абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины в составе ПГУ. . . . .	3
<b>Айтиева С.В.</b> Снижение энергопотребления при переходе на горячее водоснабжение от индивидуальных тепловых пунктов. . . . .	6
<b>Асхадуллин Н.Р., Шаймарданов А.Р.</b> Способы транспортировки водорода. . . . .	9
<b>Бабилов О.Е.</b> Химическая регенерация ионообменных смол. .	11
<b>Багманов А.Т.</b> Влияние изменения графика температуры обратной сетевой воды на схемы теплоснабжения. . . . .	15
<b>Базин Д.А.</b> Влияние подачи воздуха на энергетическую эффективность твердооксидного топливного элемента. Численное моделирование. . . . .	17
<b>Белоусова А.В.</b> Методы очистки исходной воды от железосодержащих примесей. . . . .	21
<b>Биктимиров Р.Р.</b> Конструкции топливных элементов. . . . .	24
<b>Боровков Д.А.</b> Использование малых модульных реакторов в промышленных целях. . . . .	27
<b>Валиуллина Е.С.</b> Моделирование процесса минимизации выбросов при сжигании низкосортного топлива в энергетическом котле с применением программы ANSYS CHEMKIN. . . . .	30
<b>Вафина Э.А.</b> Электролизеры получения водорода. Конструкции, материалы. . . . .	33
<b>Волков Н.О., Базин Д.А.</b> Исследование солнечных опреснительных установок с вакуумными трубчатыми коллекторами	37
<b>Волков Н.О., Базин Д.А.</b> Инновационная гибридная установка по переработке отходов в энергию — параболическая желобная установка для производства электроэнергии и опреснения воды. . . . .	40
<b>Вьюгова К.Д.</b> О механизме образования устойчивого фонтанирующего слоя. . . . .	44
<b>Гайнутдинов Ф.Р.</b> Параметры оптимизации гибридной системы ТОТЭ – МГТ. . . . .	47

<b>Галяутдинов Р.М.</b> Обзор проектируемых компрессорных станций с ГТД для добычи и транспорта природного газа. . . . .	50
<b>Гафиятуллин Д.М.</b> Технологии хранения водорода. . . . .	53
<b>Година П.В.</b> Системы оперативно-диспетчерского управления тепловыми сетями. . . . .	55
<b>Зайнуллина Г.И.</b> Исследование и сравнение схем на основе технологии нулевого сброса сточных вод термического обессеривания. . . . .	58
<b>Зайнуллина Г.И.</b> Обзор технологий производства ионитных смол. . . . .	61
<b>Залаев А.Э.</b> Влияние высокого уровня выгорания топлива на его характеристики. . . . .	64
<b>Земляных В.П.</b> перспективы использования ВВЭР-ТОИ. . . . .	67
<b>Зотова К.В., Ухалова Е.Г.</b> Методы определения водородного показателя рНt при рабочих параметрах теплоносителя. . . . .	70
<b>Иванкив Е.Р.</b> Снижение тепловых нагрузок систем теплоснабжения. . . . .	73
<b>Иванова А.Р.</b> Применение САПР в проектировании теплоэнергетических систем. . . . .	76
<b>Камалиева Р.Ф.</b> Абсорбционная установка для улавливания СО2 из дымовых газов водогрейного газового котла мощностью 1000 Квт. . . . .	79
<b>Кашин М.А.</b> Способы повышения эффективности паровых турбин. . . . .	82
<b>Кенчадзе О.А.</b> Анализ методов получения водорода в области промышленности. . . . .	85
<b>Лавриков В.А.</b> Проблема спонтанного триггеринга парового взрыва при контакте капель горячего расплава с теплоносителем в ядерном реакторе. . . . .	88
<b>Литвиненко А.Е.</b> Режимы работы теплофикационной турбоустановки Т-110/120-12,8-5. . . . .	91
<b>Майоров Е.С.</b> Определение эксергетического КПД установки паровой конверсии (риформинга) сложного углеводородного топлива. . . . .	94
<b>Макуева Д.А., Разакова Р.И.</b> Способы безопасного хранения водородного топлива. . . . .	97
<b>Миниханова А.Р.</b> Рекуперация тепловой энергии в системах вентиляции МКД. . . . .	100

<b>Миниханова А.Р.</b> Утилизация и очистка хозяйственно-бытовых сточных вод. . . . .	103
<b>Миннебаев Р.Д.</b> Расширение генерирующей мощности Казанской ТЭЦ-1. . . . .	106
<b>Нуруллин И.Р.</b> О возможностях использования паровых турбин в составе ПГУ. . . . .	109
<b>Сайфуллина Э.И.</b> К вопросу о возможности покрытия тепловых нагрузок ТЭЦ с энергоблоками ПГУ-450 при подключения дополнительных тепловых потребителей. . . . .	112
<b>Сатаров А.С.</b> Основные виды схем отопления. . . . .	115
<b>Сафаров И.И.</b> Водородный топливный элемент. . . . .	117
<b>Сафиулин Д.А.</b> Утилизация пластиковых отходов для производства водорода. . . . .	121
<b>Селендюкова О.О.</b> Роль исследовательских реакторов в современной ядерной энергетике. . . . .	124
<b>Соколов К.А., Бондарева А.С.</b> Лабиринтные уплотнители ГТД проблемы и решения. . . . .	127
<b>Сулейманов Э.В.</b> Исследование влияния различных факторов на эффективность утилизации теплоты в парогазовых установках. . . . .	129
<b>Сунгатуллин К.И., Низамова А.Ш.</b> Целесообразность использования в качестве резервного топлива судовой мазут марки Ф5 вместо топочного М100 на районной котельной «Азино» г.Казани. . . . .	132
<b>Титенков В.В.</b> Двухфазное течение в ядерной энергетике: проблемы и пути их решения. . . . .	135
<b>Филимонов А.А.</b> Варианты архитектуры химико-технологической части АЭС с ВТГР. . . . .	138
<b>Хайрутдинов А.М.</b> Проектирование электролизной установки для получения зеленого водорода. . . . .	141
<b>Хасанов А.А., Набиуллина М.Ф.</b> Исследование работы плоского солнечного концентратора для энергообеспечения жилого комплекса. . . . .	144
<b>Черкасов А.С.</b> Сравнительный теоретический анализ применения комбинированных энергоустановок с твердооксидным топливным элементом и газовой микротурбиной относительно иных децентрализованных энергоустановок. . . . .	147
<b>Чумаков М.С.</b> Система защиты подогревателей высокого давления. . . . .	151

<b>Шарипов А.Р.</b> Проблемы коррозии и эрозии латунных конденсаторных трубок. . . . .	154
<b>Шипиловских Н.А.</b> Инновационные технологии в теплоэнергетике. . . . .	157
<b>Шомахмадов И.Б.</b> Преимущества и риски жидкосолевых ядерных реакторов. . . . .	160
<b>Ямалов Б.Р.</b> Уран-ториевый цикл как источник энергии в ядерной энергетике. . . . .	163

## **СЕКЦИЯ 2. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОУСТАНОВОК И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

<b>Абдуллин Т.Р.</b> Определение толщины теплоизоляционного слоя в программной среде LabVIEW и COMSOL. . . . .	166
<b>Александров Р.Н.</b> Исследование турбулентности потока при разных режимах работы запорно-регулирующей арматуры. . . . .	169
<b>Анцупов Н.А.</b> Особенности вибродиагностики трубопроводов. . . . .	172
<b>Архипов А.Е., Мичурин В.П.</b> Оптимизация процессов сжигания топлива в промышленных котельных для повышения эффективности и снижения выбросов. . . . .	175
<b>Бикеев Т.В.</b> Отбор геотермальной теплоты для ее дальнейшей трансформации в теплонасосных станциях . . . . .	178
<b>Гадецкий В.Ю</b> Оптимизация эффективности: гидравлическая балансировка систем теплоснабжения многоквартирных домов. . . . .	181
<b>Газизова Р.Н.</b> Способы повышения эффективности системы теплоснабжения. . . . .	183
<b>Ямилева А.Р.</b> Математическая модель колебательного процесса в стеклопластиковом трубопроводе. . . . .	186
<b>Гафиатуллина К.Р., Мухамедзянов Д.Р.</b> Влияние тепловой изоляции на эффективность теплообменного оборудования. . . . .	189
<b>Гафиатуллина К.Р.</b> Исследование характеристик термочехлов на основе аэрогеля в условиях климатических испытаний. . . . .	193
<b>Гаязова З.И., Усанова Е.А.</b> Численное моделирование колебаний дефектов различной формы и размера. . . . .	196
<b>Глухова П.Е.</b> Перспективы применения геотермальной энергетики в России . . . . .	199

<b>Миннигалимов Р.Р., Гузаеров М.Л.</b> Регуляция расхода теплоносителя в тепловых пунктах для повышения энергоэффективности системы. ....	202
<b>Закирова Я.Р.</b> , Повышение эффективности ограждающих конструкций стен зданий .....	205
<b>Иванов А.О.</b> Мероприятия по снижению теплопотерь через ограждающие конструкции промышленного здания. ....	208
<b>Исаева Е.А.</b> Использование тепловых накопителей энергии для устранения дебалансов в энергетике промышленных предприятий .....	210
<b>Ковальчук А.А.</b> Улучшение характеристик печного бытового топлива добавлением дизельных дистиллятов вторичной перегонки. ....	213
<b>Коньжов К.В.</b> Особенность построения вентиляции в офисных зданиях и ее влияние на качество воздуха внутри помещений. ....	216
<b>Коньжов К.В.</b> Влияние вентиляции на качество воздуха в зданиях .....	219
<b>Крайков М.Д., Гафиатуллина К.Р.</b> Исследование теплофизических характеристик материала на основе аэрогеля при повышенных температурах .....	222
<b>Кузнецов И.В.</b> Modernization of heat supply systems. ....	225
<b>Мукатдаров А.А., Мукатдарова Д.А.</b> Тепловые процессы при сушке керамических строительных материалов. ....	227
<b>Мурзаев А.С.</b> Повышение эффективности аккумуляторов теплоты каскадным расположением материалов с фазовым переходом. ....	231
<b>Мустафин Р.М.</b> Исследование системы термохимической рекуперации теплоты отходящих дымовых газов с глубокой утилизацией в программном комплексе ASPEN HYSYS .....	234
<b>Мухутдинов А.Р.</b> Проблемы, сдерживающие развитие переработки золошлаковых отходов в различных регионах. ....	237
<b>Новоселова М.С.</b> Энергообеспечение жилого района за счет мини-ТЭЦ. ....	240
<b>Румянцев А.С.</b> Оценка эффективности применения парокompрессионных тепловых насосов в автономных системах теплоснабжения. ....	242
<b>Смирнова Е.П.</b> Влияние хладагентов на окружающую среду. .	245
<b>Тимершин А.Р., Шарафиев Д.Е.</b> Функционализация углеродных нанотрубок для повышения эффективности модифицированных теплоносителей. ....	248
<b>Токтарова А.А.</b> Практическое применение пониженных температурных графиков систем отопления. ....	251



<b>Усанова Е.А., Гаязова З.И.</b> Создание программы для определения расстояния до места утечки. . . . .	254
<b>Шадымов Н.А.</b> Исследование потока газа через уплотненный слой в трубе: влияние шероховатости гранул. . . . .	257
<b>Шарафиев Д.Е., Тимершин А.Р.</b> Сравнительный анализ процесса режима заряда аккумулятора тепла фазового перехода. . . . .	259
<b>Юровская В.Д., Дроздов Н.Н.</b> Перспективы применения нейросети для повышения эффективности работы оборудования теплоэлектростанций. . . . .	262

### СЕКЦИЯ 3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

<b>Абрамов В.А., Смышляев М.О.</b> Использование нейросетей для контроля энергонасыщенных ГТУ . . . . .	267
<b>Аксакова З.Ф., Герюгова А.А.</b> Применение силикатных покрытий для защиты от износа в гидравлических турбинах . . . . .	270
<b>Алтынбаев Р.Л., Клейдман О.В.</b> Прочность лопаток турбомашин под действием растягивающих центробежных сил инерции с учётом влияния связей. . . . .	273
<b>Антонов В.Д., Гарипов К.Р., Клейн Е.В.</b> Снижение выбросов при работе котельного агрегата. . . . .	276
<b>Анцырев А.А.</b> Механика в COMSOL Multiphysics . . . . .	279
<b>Анцырев А.А., Маслов И.Н.</b> Сравнение тепловых станций, работающих на угле и газе . . . . .	282
<b>Асыллов А.Р., Маслов И.Н.</b> Выбор газопоршневой установки для изолированного района . . . . .	286
<b>Асыллов А.Р., Маслов И.Н.</b> Исследование модернизации двухвального газотурбинного двигателя с форсажной камерой. . . . .	288
<b>Бакинский А.А.</b> Расчёт сетевого подогревателя паротурбинной установки. . . . .	292
<b>Барейчев Р.Т., Корсаков А.В.</b> Обзор различных типов газогенераторов. . . . .	295
<b>Валиуллин А.А., Шарипов Т.И., Шакуров Ф.Ф.</b> Бережливое производство для энергосистем . . . . .	298
<b>Валиуллин А.А., Шарипов Т.И., Шакуров Ф.Ф.</b> Применение водородных накопителей в энергетике . . . . .	301

<b>Волкова Е.В., Яркова В.А., Хакимуллина Л.Ш.</b> К методике механического расчета монтажных натяжений и стрел провеса проводов воздушных линий электропередач. ....	304
<b>Володина С.Н., Мельникова Е.А.</b> Использование газотурбинных установок в нефтеперерабатывающей промышленности .....	309
<b>Галиев И.Р.</b> О причине парадокса в примере Пэнлеве – Клейна. ....	312
<b>Гареев А.Ю., Маслов И.Н.</b> Нарушения функционирования механических систем с «сухим» трением. ....	315
<b>Гареев А.Ю., Маслов И.Н.</b> Энергетика Красноярского края после газификации. ....	318
<b>Гарипов М.И., Петров Д.Н.</b> Прогнозирование потребления энергетических ресурсов в микрорайоне .....	321
<b>Гарипов М.И.</b> Пуск ГТУ гидродвигателем .....	323
<b>Гильмутдинов Р.Р.</b> Моделирование ГТУ с целью повышения КПД .....	326
<b>Гильмутдинов Р.Р.</b> Применение компьютерных технологий в обучении теоретической механике и конструировании ГТУ. ....	330
<b>Гильмутдинова Р.И., Клейн Е.В.</b> Использование генераторного газа из низкосортного угля в ГТУ .....	333
<b>Готин Я.С., Лаптев С.А.</b> Анализ характеристик насосов для перекачки сложных смесей с содержанием жидкой, твердой и газообразной фаз .....	336
<b>Грищенко Д.В.</b> Вибрационная надёжность лопаток турбомашин .....	339
<b>Гурова М.В., Клейн Е.В.</b> Гибридные мини-ТЭС с ветровыми установками .....	343
<b>Дворнова Е.А.</b> Перспективы применения биотоплива в энергетических котлах .....	346
<b>Дворнова Е.А., Чалкин Д.В.</b> Региональная дифференциация нормативных требований по выбору энергетического оборудования .....	349
<b>Еркияшев С.А., Клейн Е.В.</b> Влияние вибраций, вызванных работой ГТУ, на сотрудники тепловых электростанций. ....	352
<b>Залялов А.А., Маслов И.Н.</b> Выбор энергетического оборудования по фактическим нагрузкам. ....	355

<b>Залялов А.А.</b> Использование утилизационных теплообменников для ГТУ малой мощности . . . . .	358
<b>Замалетдинов Р.И., Клейн Е.В.</b> Снижение выбросов оксида углерода при работе газотурбинной установки . . . . .	360
<b>Зиятдинов Д.Д.</b> Способы использования нефтяного кокса . . . . .	363
<b>Зозуля И.В.</b> Анализ работы ГТУ на разных видах топлива . . . . .	365
<b>Иванов Н.А., Шишкина Е.А.</b> Способы увеличения конструкционной прочности материалов и элементов систем . . . . .	368
<b>Ишалин А.В.</b> Вариант газификации отдаленных районов с использованием магистральных газопроводов . . . . .	371
<b>Казбакова И.Р.</b> Оценка вредных выбросов парового котла ДЕ-10-14ГМ на различных видах топлива . . . . .	375
<b>Клейн Е.В.</b> Расчёт парового котла при работе на синтез-газе . . . . .	378
<b>Лысов Ф.Д.</b> Мониторинг электрических нагрузок в жилищно-коммунальном хозяйстве . . . . .	381
<b>Лысов Ф.Д., Маслов И.Н.</b> Применение водорода как фактор развития энергетической отрасли . . . . .	384
<b>Меньшатов А.М., Маслов И.Н.</b> Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки. . . . .	387
<b>Меньшатов А.М., Маслов И.Н.</b> Водородная энергетика как фактор развития топливно-энергетического комплекса. . . . .	389
<b>Мерзляков А.А., Клейн Е.В.</b> Источники возникновения и способы снижения шума при работе ГТУ . . . . .	392
<b>Микусов Е.О.</b> Исследование целесообразности применения внутрицикловой газификации угля в энергетике . . . . .	396
<b>Муругов Д.А.</b> Использование турбодетандера для извлечения энергии природного газа . . . . .	399
<b>Набиуллина М.Ф.</b> Исследование работы различных типов солнечных концентраторов в условиях Республики Татарстан . . . . .	402
<b>Назыркулов Н.К., Клейн Е.В.</b> Материалы для фотоэлектрических модулей солнечных энергоустановок . . . . .	406
<b>Насибуллин А.А., Маслов И.Н.</b> Сравнение энергообеспечения жилищного комплекса когенерационными установками на базе ГТУ и на базе ГПУ . . . . .	409
<b>Нигаметзянова С.Н., Матвеева А.С.</b> Принцип работы электрического генератора в гидроэлектростанции . . . . .	412

<b>Низамова А.Ш., Сунгатуллин К.И.</b> Целесообразность использования в качестве резервного топлива судовой мазут марки Ф5 вместо топочного М100 на районной котельной «Азино» г. Казани . . . . .	415
<b>Новоселова М.С.</b> Синтез-газ как топливо для газотурбинных установок . . . . .	418
<b>Орлов А.С.</b> Автоматизированное моделирование . . . . .	420
<b>Орлов А.С., Гарипов М.И.</b> Исследование добавления водорода к природному газу и его влияние на механические характеристики лопатки газовой турбины . . . . .	424
<b>Петров Д.Н., Маслов И.Н.</b> Исследование модернизации ГТУ SGT-600 в программном комплексе АС ГРЭТ . . . . .	427
<b>Петров Д.Н., Орлов А.С.</b> Мониторинг электрических нагрузок с целью своевременной актуализации нормативной базы . . . . .	430
<b>Петрова Д.Д., Маслов И.Н.</b> Программная среда для проведения энергоаудита газотурбинных установок. . . . .	432
<b>Петрова Д.Д., Маслов И.Н.</b> Расчет энергетических характеристик генерирующего оборудования в изолированном районе. . . . .	435
<b>Порозова А.А.</b> Направления совершенствования гидроциклонного оборудования с целью расширения их области применения . . . . .	438
<b>Рафиков М.Б., Калинин И.А., Теткин И.Ю., Марченко Ю.Г., Седунин В.А.</b> Разработка стенда для измерения тяги электровентиляторов для малой авиации. . . . .	441
<b>Рыбаков И.Д.</b> Бережливое производство для энергосистем . . . . .	445
<b>Рыбаков И.Д.</b> Мониторинг энергетических ресурсов жилых районов крупных городов . . . . .	447
<b>Сабиров Р.И.</b> Водородная энергетика как фактор развития экономики . . . . .	451
<b>Сабиров Р.И., Залялов А.А.</b> Сравнительный анализ турбин Siemens SGT-800 и ГТЭ-65 . . . . .	453
<b>Салахутдинова Э.И., Клейн Е.В.</b> Сложности и перспективы применения водорода в энергетике . . . . .	456
<b>Самигулин Д.С., Маслов И.Н.</b> Исследование статистических параметров газа в различных сечениях проточной части двигателя . . . . .	459
<b>Самигулин Д.С., Маслов И.Н.</b> Перспектива использования угля в качестве топлива . . . . .	462

<b>Сарафанников С.М., Клейдман О.В.</b> Ползучесть и длительная прочность рабочих лопаток турбомашин . . . . .	465
<b>Семенов И.В.</b> Владение английским языком специалистов энергетической отрасли . . . . .	468
<b>Соловьева А.В., Лаптев С.А.</b> Классификация центрифуг по способу выгрузки жидкой фазы . . . . .	471
<b>Солуянов В.И., Гусаров А.Г.</b> Внедрение устройств защиты от дугового пробоя в электроустановках жилых и общественных зданий . . . . .	474
<b>Стасеев А.А.</b> Автоматизированное проектирование 3D-моделей спирального отвода ступени центробежного насоса с помощью АРІ «Компас-3D» . . . . .	477
<b>Сулейманова А.А., Хадиева А.Р., Клейн Е.В.</b> Режимы работы низкотемпературного газогенератора . . . . .	480
<b>Терская А.А.</b> Перспективные направления получения водорода в России . . . . .	483
<b>Терская А.А.</b> Энергоснабжение изолированного района с учетом фактических электрических нагрузок . . . . .	486
<b>Теткин И.Ю., Седунин В.А., Калинин И.А., Рафиков М.Б.</b> Радиальное траверсирование осевого компрессора натурной ГТУ . . . . .	489
<b>Ханго О.</b> Потенциал развития энергосистемы Республики Намибия при использовании местных ресурсов. . . . .	492
<b>Хасанова А.Х., Лаптев С.А.</b> Разработка пилотной установки для апробации стадии предварительной подготовки нефти. . . . .	495
<b>Хафизов Г.И., Клейдман О.В.</b> Методы увеличения долговечности лопаток турбомашин при вынужденных колебаниях . . . . .	498
<b>Хисамутдинов М.Р., Клейн Е.В.</b> Трубопроводный транспорт водорода . . . . .	501
<b>Чалкин Д.В.</b> Модернизация Заинской ГРЭС . . . . .	504
<b>Чалкин Д.В., Дворнова Е.А.</b> Современный подход к выбору энергетического оборудования . . . . .	506
<b>Шайнуров Р.Д.</b> Повышение энергетических характеристик ГТУ . . . . .	509
<b>Шайнуров Р.Д., Маслов И.Н.</b> Применение автоматизированной системы газодинамических расчетов энергетических турбомашин . . . . .	512
<b>Шакуров Ф.Ф., Шарипов Т.И., Валиуллин А.А.</b> Актуализация электрических нагрузок на примере Московской области . . . . .	515

<b>Шакуров Ф.Ф., Шарипов Т.И., Валиуллин А.А.</b> Моделирование ГТУ в АС ГРЭТ. ....	518
<b>Шарипов Т.И., Шакуров Ф.Ф., Валиуллин А.А.</b> Обзор современных подходов к топливу из биомассы для сжигания на ТЭС ..	521
<b>Шарипов Т.И., Шакуров Ф.Ф., Валиуллин А.А.</b> Современные отечественные тепловые электростанции .....	524
<b>Шаров М.Д.</b> Современные энергетические технологии в геотермальной энергетике .....	526
<b>Шилкин Д.В., Маслов И.Н.</b> Выбор газопоршневой установки на основании расчета электрической нагрузки .....	529
<b>Шилкин Д.В., Маслов И.Н.</b> Работа газотурбинной установки на разных видах топлива .....	532

#### **СЕКЦИЯ 4. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ, СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

<b>Айдаров М.А., Пономарёва Д.С.</b> Оценка себестоимости водорода в гибридном энергокомплексе. ....	536
<b>Гильфанова Р.Л.</b> Анализ применения композитных опор ЛЭП в сейсмическом районе. ....	540
<b>Мустафина Г.Р.</b> Диагностика и выявление дефектов стальных резервуаров. ....	543
<b>Мустафина Г.Р.</b> Конструктивные решения цилиндрического железобетонного резервуара. ....	545
<b>Мустафина Г.Р.</b> Оценка прочности железобетонного резервуара. ....	548
<b>Насырова И.И.</b> Энергоэффективный сепаратор с наклонными пластинами.....	550
<b>Попова Л.А., Дорожкин А.Д., Ламонов А.С.</b> Энергоэффективное остекление. ....	554
<b>Сабирова Ю.Ф.</b> Влияние коэффициента гидравлического сопротивления на теплоотдачу через пористый материал из меламина. ....	558
<b>Фадеева К.А., Шамбина Д.А.</b> Охлаждение газов водой с регулярными насадками .....	561
<b>Хнычева Н.В.</b> Напряженно - деформированное состояние монолитных железобетонных стен зданий. ....	564
<b>Шакурова Р.З.</b> Численное исследование осаждения частиц пыли в пористых теплообменниках. ....	569

<b>Шамбина Д.А., Фадеева К.А.</b> Охлаждение газов водой с нерегулярными насадками. ....	572
--	-----

## СЕКЦИЯ 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

<b>Абзалов Д.Б., Горбов В.Ю.</b> Система дымоудаления в умном доме .....	576
<b>Ардеев И.Р.</b> Внедрение робототехники в процессы автоматизированных технических измерений .....	578
<b>Баторшин Т.Р.</b> Система диагностики программно-технического комплекса с использованием элементов искусственного интеллекта .....	582
<b>Бикбулатов Р.И.</b> Актуальность задачи автоматизации расчета параметров греющего провода и выбор инструмента для ее реализации .....	586
<b>Богданов А.В.</b> Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве .....	589
<b>Богданов А.В.</b> Анализ применения манипулятора в индустрии развлечений .....	592
<b>Валеев А.И.</b> Автоматизированная система подачи газообразных топлив на горелку котла Е-180-3,3-425 ГД .....	594
<b>Газизуллин И.М.</b> Применение экструзии для формования изделий из пластмасс. ....	598
<b>Галиева А.Р.</b> Автоматизированные датчики мониторинга среды в угольных шахтах. ....	600
<b>Горбов В.Ю., Абзалов Д.Б.</b> Использование искусственного интеллекта в системах вентиляции .....	603
<b>Идрисова Г.Ф.</b> Разработка автоматической системы пожаротушения для обеспечения безопасности в банном помещении. ....	605
<b>Каримов Р.И., Ильина А.А.</b> АСУ климатом в умном доме с использованием альтернативных источников энергии .....	610
<b>Квасова И.С.</b> Программирование автоматической системы управления камерой копчения колбасы с использованием программного комплекса CODESYS. ....	612
<b>Муниров Э.Д., Ильина А.А.</b> Система автоматического управления технологическим процессом производства этиленгликоля .....	616

<b>Муратова А.М.</b> Разработка автоматизированной системы управления канализационной насосной станцией . . . . .	620
<b>Пирогова А.М.</b> Модернизация пароводяного тракта котла БГМ-35м . . . . .	624
<b>Стукало Р.Е.</b> Система автоматического управления турбодетандерным агрегатом . . . . .	629
<b>Тазеев Н.Ф., Ильина А.А.</b> Система автоматического управления вентиляторной градирней типа СК . . . . .	633
<b>Фаизов Н.Н.</b> Разработка автоматизированной системы управления оборотного водоснабжения производственного участка .	638
<b>Хабиров Т.А.</b> Программа Matlab, как инструмент моделирования и автоматизации инженерных решений . . . . .	641
<b>Шайхезадин Д.И, Шаронов Н.С.</b> Разработка многопользовательской онлайн-платформы для проведения робототехнических соревнований . . . . .	644
<b>Эйтерник А.Ю.</b> Автоматическая система управления метантенком очистных сооружений г. Йошкар-Ола . . . . .	647

## СЕКЦИЯ 6. ТЕПЛОФИЗИКА

<b>Абдуллин А.А.</b> Математические исследования сепарационного устройства с дугообразными элементами. . . . .	651
<b>Бадретдинова Г.Р.</b> Конденсация паровоздушной смеси на поверхности кольцевого круглого спирального ребра постоянной толщины. . . . .	654
<b>Валюк А.С.</b> Способы измерения теплоты. . . . .	657
<b>Галиулина А.Р.</b> Выбор эффективного теплообменного аппарата для судовой энергетической установки. . . . .	660
<b>Гильмутдинова Р.И., Nguyen Vu Linh, Hanoi University of Industry, Vietnam.</b> Определение критического размера уносимых частиц в реакторе с псевдооживленным слоем. . . . .	663
<b>Жалмаганбетова С. Т., Жексенбекова А. Д.</b> Сравнительный анализ видов топлива, используемого в газотурбинных установках. . . . .	666



<b>Бадретдинова Г.Р., Зинуров В.Э., Якупов Т.Р.</b> Численное моделирование конденсации двухфазной смеси на оребренной поверхности теплообменного аппарата.....	669
<b>Прец М. А., Хабибуллин Б. Р., Зиангиров А.Ф.</b> Сепарационное мультивихревое устройство для улавливания мелкодисперсных твердых частиц.....	672
<b>Мугинов А.М., Шаймарданов А.Р.</b> Экспериментальная установка для определения эффективности сепарационной колонны	675
<b>Мугинов А.М.</b> Исследование влияния изменения угла раскрытия вертикальных проточек на работу мультивихревого классификатора.....	678
<b>Прец М.А., Нгуен Ву Линь.</b> Очистка газовых выбросов угольных котельных от твердых частиц.....	681
<b>Репьёв В.А.</b> Определение температуры при использовании относительного термического коэффициента.....	684
<b>Сидоров М.П.</b> Применение интенсификации в теплообмене....	687
<b>Шаймарданов А.Р., Мугинов А. М.</b> Определение эффективности улавливания мелкодисперсных частиц жидкости трубой.....	690
<b>Шипиловских Н.А., Щербенев Н.А.</b> Способы измерения расходов в теплоэнергетике на основе показаний приборов.....	693
<b>Шуктомова А. Г., Nguyen Vu Linh.</b> Сравнительный анализ градиен противоточного и поперечноточного типов по энергетическим затратам.....	696
<b>Якунькин М.И.</b> Дифференциальные манометры для измерения разницы давлений между двумя точками в системе.....	698

## **СЕКЦИЯ 7. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ**

<b>Абрамова С.М., Сиразиева Д.Е., Гордеева М.Э.</b> Сравнительная характеристика антиоксидантных свойств воды из разных источников. ....	702
<b>Ахманов А.Р., Хамитова М.Ф.</b> Гидробиоценоз биологического фильтра рыбоводной установки в условиях переменной проточности. ....	704
<b>Васильева Е.А., Хамитова М.Ф.</b> Особенности зоопланктона родниковых вод и реки Илеть по материалам 2022г. ....	707
<b>Гиниятуллина А.Р., Шатруков И.А.</b> Особенности качества вод – потенциальных источников воды в УЗВ .....	710

<b>Жаров Д.Н., Гордеева М.Э.</b> Исследование антиоксидантной активности продуктов питания из рациона спортсменов-хоккеистов.	713
<b>Зайцева М.В., Борисова С.Д.</b> 3D печать элементов установки совместного выращивания рыбы и растений.....	716
<b>Калайда М.Л., Пенкин В.П.</b> Динамика изменения активной реакции среды, или водородного показателя водоема комплексного назначения на р.Нысе у с.Абди по материалам 2022 г. ....	719
<b>Калайда М.Л., Удачин С.А.</b> Изменение состава ихтиофауны Куйбышевского водохранилища с позиций возможного использования как сырья для производства кормов в аквакультуре Среднего Поволжья .....	722
<b>Калайда М.Л., Шарафутдинов Р.Г.</b> Организация и проведение конкурса на пользование рыболовным участком .....	725
<b>Кашина К.А., Калайда А.А.</b> Исследование применения методики ручного кормления для осетровых рыб.....	729
<b>Кибякова В.П., Борисова С.Д.</b> Аквапоника как устойчивая система выращивания комнатного растения <i>Spathiphyllum</i> .....	732
<b>Кожеватова Н.А., Калайда А.А.</b> Сравнение структуры водоохранного законодательства в России и Турции. ....	736
<b>Медведева А.С., Борисова С.Д.</b> Исследование выращивания алоэ древовидного ( <i>Aloe arborescens Mill.</i> ) в аквапонической установке. ....	739
<b>Мингазов Н.Р.</b> Современное распространение ротана в России	742
<b>Мырина М.А., Хамитова М.Ф.</b> Видовой состав гидробиоценоза аквапонических установок кафедры ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ» .....	745
<b>Саетов А.Р.</b> Исследование особенностей функционирования гидроакустических средств для контроля эффективности работы рыбозащитных сооружений. ....	748
<b>Хайруллина Э.И., Хамитова М.Ф.</b> Сравнительный анализ состояния аквакультурного сектора Республики Татарстан. Предпосылки создания кластера аквабиотехнологий в регионе. ....	753

## СЕКЦИЯ 8. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

<b>Абсаламова С.М., Яруллина А.А.</b> Явление фреттинг-коррозии .....	756
<b>Бикбова З.М.</b> Современные и перспективные материалы и технологии для изготовления лопаток турбин .....	758

<b>Гимадиева Р.Ф., Якубова С.Н.</b> Механическая активация минералов при измельчении . . . . .	761
<b>Гиматдинов Р.Р., Шипиловских Н.А., Щербенев Н.А.</b> Композиционные материалы и их применение в энергетической отрасли . . . . .	763
<b>Еремин А.В., Валиев И.Р.</b> Материалы с памятью формы и их применение на примере нитинола . . . . .	765
<b>Жалмаганбетова С.Т., Жексенбекова А.Д.</b> Влияние высоких температур на свойства различных видов стали . . . . .	767
<b>Зыюнг Тхи Май, Сазонов О.О.</b> Металлокомплексная модификация полиуретановых термоэластопластов для воздействия на их технические свойства . . . . .	770
<b>Котомкина Д.О.</b> Применение корреляционных функций в моделировании структуры материалов . . . . .	773
<b>Ли Е.Д., Давлетбаев Р.С., Сазонов О.О.</b> Синтез аналитических сенсоров на основе микропористых блок-сополимеров . . . . .	776
<b>Лисовская П.В.</b> Перспективные материалы для производства кузовов автомобилей . . . . .	779
<b>Халимова К.А., Метлёва Д.А.</b> Новые методы защиты металлических материалов от коррозии . . . . .	781
<b>Мухутдинов К.Р., Низамиев Д.Р., Хамитов А.Р.</b> Перспективные направления разработки полимерных композиционных материалов для 3D-печати. . . . .	784
<b>Салимгараева И.И., Гильмутдинова К.Р.</b> Применение наноматериалов в теплоэнергетике . . . . .	787
<b>Хусаинова Л.И., Тимонина А.И.</b> Материалы и технологии для производства теплообменников . . . . .	789
<b>Чернов Д.В.</b> Современные и перспективные способы термообработки алюминия . . . . .	791
<b>Щелкунова А.Ю., Морозов Н.А., Прохорова И.Е.</b> Изучение свойств шлака восстановительного рафинирования . . . . .	794
<b>Юсупова Д.А.</b> Перспективы использования перовскита в солнечных элементах . . . . .	797
<b>Яппаров Т.Р.</b> Влияние кремнеземисто-карбонатной добавки на спекание глинистого сырья . . . . .	799

Научное издание

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2024 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ  
ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция

(Казань, 24-26 апреля 2024 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В четырех томах

Том 2

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Авторская редакция

Корректор *И.А. Минаев*

Компьютерная верстка *И.А. Минаева*

Дизайн обложки *Ю.Ф. Мухаметшиной*

КГЭУ

420066, Казань, Красносельская, д. 51

ISBN 978-5-89873-665-1



9 785898 736651