



**55** КГЭУ

# **XXVII ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,**

**ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА И 55-ЛЕТИЮ КАЗАНСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**КАЗАНЬ, 5-6 ДЕКАБРЯ 2023 Г.**

**МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ**

**В ТРЕХ ТОМАХ**

**ТОМ 2**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

**XXVII ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ  
НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,  
ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА И 55-ЛЕТИЮ КГЭУ**

5–6 декабря 2023 г.

Казань

В трех томах

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

Том 2

Казань 2023

УДК 621.1+621.3+621.04+681.5+574

ББК 31+32.96+28.08

М34

Рецензенты:

доцент СГТУ имени Гагарина Ю.А,  
кандидат физико-математических наук, доцент Е.К. Пыльская;  
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

М34      **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. – 511 с.**

ISBN 978-5-89873-652-1 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-654-5

В сборнике представлены материалы докладов XXVII Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного дню энергетика и 55-летию КГЭУ, 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 энергетике, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.

УДК 621.1+621.3+621.04+681.5+574

ББК 31+32.96+28.08

ISBN 978-5-89873-652-1 (т. 2)

© КГЭУ, 2023

ISBN 978-5-89873-654-5

# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

## Секция 1. Ядерная, тепловая и электрохимическая энергетика

УДК 661.961

### СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Нияз Рашитович Асхадуллин

Науч. рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
zhdunov09@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются способы получения водорода, их достоинства, недостатки и выдвигается самый эффективный вариант.

**Ключевые слова:** паровая конверсия метана, электролиз воды, газификация угля, водородная энергетика, пиролиз.

### METHODS FOR PRODUCING HYDROGEN

Niyaz R. Askhadullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
zhdunov09@mail.ru

**Abstract.** This article discusses the methods of producing hydrogen, their advantages and disadvantages, and puts forward the most effective option.

**Keywords:** steam conversion of methane, electrolysis of water, coal gasification, hydrogen energy, pyrolysis.

Водородная энергетика является одним из самых перспективных видов энергетики 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 – нужда в большом объёме производства водорода.

Есть множество способов получения водорода: электролиз воды, паровая конверсия метана (ПКМ), газификация угля, пиролиз. У каждого



из приведенных ранее способов есть свои преимущества и недостатки. Водородная энергетика требует промышленного производства водорода, значит его должно быть много, и он должен быть дешевым.

Электролиз воды. Воздействие электрического тока на дистиллированную воду приводит к её разложению на кислород и водород. Данный способ очень привлекателен своей экологичностью и возможностью создания установок с разными объёмами производства, но и достаточно дорогой, на долю производства приходится от 4% до 5% [1].

Паровая конверсия метана (ПКМ). Концентрация метана в природном газе составляет от 77% до 99%, а в иных нефтяных газах от 30% до 90%. Метан содержит целых 4 атома водорода, что делает его фактически большой молекулой водорода, следовательно именно метан нужно использовать для получения водорода. Отделение водорода от углерода протекает в так называемых трубчатых печах с подводом теплоты от 700 до 850 градусов Цельсия через стенку трубы на каталитических поверхностях (корунд, никель), далее происходит реакция с угарным газом [2]. Себестоимость данного процесса – от 180 до 450 рублей за 1 килограмм водорода, что делает этот способ одним из самых выгодных.

Газификация угля. Старейший способ получения водорода, уголь в данном способе используется как топливо и химический реагент. Водород получают в ходе термического разложения воды. Уголь нагревают в пределах от 700 до 1500 градусов Цельсия, в ходе нагревания производятся водород, метан, углекислый газ [3]. Далее газы отделяются от угля и проходят очистку от смеси газовых и твердых частиц. Полученный газ обрабатывается и его разделяют на отдельные компоненты, получая водород. Но в ходе газификации угля проявляются и недостатки: выбросы углекислого газа, проблемы с утилизацией отходов, что плохо отражается на экологии [4].

Пиролиз. Бескислородное разложение органических веществ при высоких температурах, в результате которого образуется смесь газов. В таблице 1 приведены виды пиролиза.

## Виды пиролиза

Метод	Описание
Быстрый	Происходит при температуре от 500-800 и высокой скорости нагрева
Медленный	Протекает при температуре 350-500 и медленной скорости нагрева. В отличие от быстрого пиролиза получается больше твердого осадка и водорода газовой смеси остаётся меньше
Термохимический	Разложение органических веществ в бескислородной среде при высоких температурах. В итоге получается газовая смесь, содержащая водород.
Биодеструкция	Разложение старых органических материалов при высоких температурах и давления. Получается газ, содержащий водород.

Главные плюсы пиролиза: большой выбор сырья для производства водорода, что помогает уменьшить зависимость от определенного типа сырья; экономическая выгода процесса. Но есть и минусы: образование большого количества побочных продуктов (газы, сажа); требование высоких температур и давления; выбросы углекислого газа, что влечет загрязнение окружающей среды или же специальное оборудование для фильтрации [5].

Подводя итоги, можно сказать, что в метане содержится больше атомов водорода чем в веществах, используемых в пиролизе, газификации угля и в электролизе воды, что в итоге приводит к большему объёму получаемого водорода. ПКМ экологичнее пиролиза и газификации угля, дешевле электролиза воды. Исходя из всех этих факторов, которые были рассмотрены, можно сделать вывод, что паровая конверсия метана (ПКМ) является лучшим способом получения водорода на данный момент времени.

### 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. Веприков, В.А. Модернизация стадии паровой каталитической конверсии метана на ПАО «Тольяттиазот»: Выпускная квалификационная работа / В.А. Веприков; ТГУ – Тольятти: Издательство ТГУ, 220. — 48 с.

3. Материалы для водородной энергетики: курс лекций / Урал. Ун-та им. А.М. Горького – Екатеринбург: Издательство УГУ, 2008. — 130с.

4. Кочетов, А. Водородная энергетика: методы получения водорода [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://dzen.ru/media/dbk/vodorodnaia-energetika-metody-polucheniia-vodoroda-5e7b530441521e01e08bd7f9>, 25.03.2020

5. Способы получения водорода: пиролиз [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://buldogok.ru/2023/10/10/sposoby-poluceniya-vodoroda-piroliz/>, 10.10.2023

УДК 621-039.5

## НЕДОСТАТКИ РБМК И ДАЛЬНЕЙШИЕ ЕГО УЛУЧШЕНИЯ

Даниил Алексеевич Боровков

Науч. рук. ст. пр. Руслан Владимирович Бускин

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

[danilka.borovkov.05@mail.ru](mailto:danilka.borovkov.05@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассказывается о недостатках реактора большой мощности канального, среди которых положительный паровой коэффициент реактивности и «Концевой эффект» в реакторе. Представлены ряд мер по повышению безопасности установок РБМК после аварии на Чернобыльской АЭС и дальнейшее использование данного типа реактора в Российской Федерации.

**Ключевые слова:** РБМК, реактор, реактивность, стержни СУЗ, графитовый вытеснитель, вода, активная зона, АЭС.

## DISADVANTAGES OF RBMK AND ITS FURTHER IMPROVEMENTS

Daniil A. Borovkov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[danilka.borovkov.05@mail.ru](mailto:danilka.borovkov.05@mail.ru)

**Abstract.** The article describes the disadvantages of a high-power channel reactor, including a positive steam reactivity coefficient and an "End effect" in the reactor. A number

of measures to improve the safety of RBMK installations after the Chernobyl accident and the further use of this type of reactor in the Russian Federation are presented.

**Keywords:** RBMK, reactor, reactivity, CPS rods, graphite displacer, water, core, NPP.

Реактор РБМК-1000 имел по состоянию на апрель 1986 года (в эксплуатации было 15 реакторов на 5 станциях) ряд конструктивных недостатков и множество нарушений и отступлений от действующих правил ядерной безопасности. Об этом конструкторам было известно за годы до катастрофы.

### **Положительный паровой коэффициент реактивности**

В процессе работы реактора через активную зону прокачивается вода, которая используется как в качестве теплоносителя, так и в качестве замедлителя и поглотителя нейтронов, что существенно влияет на реактивность. Реактор был спроектирован таким образом, что паровой коэффициент реактивности был положительным, а пустотный – отрицательным. Воздействие положительного парового коэффициента во время испытаний выбега турбогенератора не компенсировалось другими явлениями, влияющими на реактивность, поэтому реактор имел положительный быстрый мощностной коэффициент реактивности. В активной зоне возникла положительная обратная связь, что еще больше увеличило выходную мощность. Это делало реактор опасными нестабильным. Расчётные пустотный и быстрый мощностной коэффициенты реактивности были отрицательными, но в реальности они оказались положительными, что делало неизбежным взрыв при полном обезвоживании активной зоны [1].

«**Концевой эффект**» в реакторе РБМК был вызван особенностями конструкции стержней управления и защиты и впоследствии признан ошибкой проекта и одной из причин аварии. Суть эффекта заключается в том, что при опускании в 7-метровую активную зону реактора полностью вытасненных стержней, в середине которых находится графитовый вытеснитель длиной в пять метров, в нижней части каналов остается столб воды длиной два метра, из-за чего ядерные реакции не замедляются, а напротив – резко ускоряются за счёт того, что графит хуже поглощает нейтроны, чем вода [2].

### **Послеаварийные изменения в РБМК**

После аварии на Чернобыльской АЭС был принят ряд мер по повышению безопасности установок РБМК, среди которых: снижение пустотного коэффициента реактивности за счет установки в активной зоне 80-90 дополнительных неподвижных поглотителей для торможения

работы на малой мощности и увеличение ОЗР с 26-30 стержней (в установившемся режиме работы) до 43-48; повышение оперативности реагирования системы аварийной защиты; внедрение расчетных программ, обеспечивающих индикацию значения оперативного запаса реактивности в помещении управления; предотвращение обхода систем аварийной безопасности при работе реактора; для обеспечения адекватного недогрева на входе в активную зону необходимо избегать режимов работы, вызывающих снижение степени отклонения от пузырькового кипения (ДНБ) теплоносителя на входе в реактор; модернизация стержней управления; замена топливных каналов на всех энергоблоках; усовершенствования систем аварийного охлаждения активной зоны [3-4].

### **Действующие заводы РБМК**

В настоящее время действуют восемь РБМК, все из которых находятся в России. В России строился еще один («Курск-5»), но сейчас данный проект заморожен. Все РБМК, действующие на данный момент, начали свою работу в период с 1979 года (Курск-2) по 1990 год (Смоленск-3). В 2006 году Росатом заявил, что возможно продление срока эксплуатации реакторов типа РБМК и повышение его мощности. Внесенных после чернобыльской аварии значительные конструктивных изменений, а также масштабная реконструкция топливных каналов позволит продлить срок эксплуатации реактора до 45 лет. В 2022 году они обеспечили около 25% российской атомной электроэнергии [5].

### **Источники**

1. Белорусская АЭС [Электронный ресурс]. <https://www.belaes.by/ru> (дата обращения 26.10.23).
2. История атомной энергетики Советского Союза и России / под ред. Сидоренко В.Л. Вып. 4. Уроки аварии на Чернобыльской АЭС. М.: ИздАТ, 2002. 544 с.
3. Russian RBMK Reactor Design Information Prepared by Russian Academy of Science Nuclear Safety Institute Moscow, Russia, 1993 [Электронный ресурс]. [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/25/028/25028966.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/25/028/25028966.pdf) (дата обращения: 26.10.23).
4. Цибульский В.Ф., Андрианова Е.А. Модернизация РБМК как альтернатива выводу из эксплуатации // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2018. № 3. С. 4-10.

5. The Chernobyl accident: updating of INSAG-1: INSAG-7: a report by the International Nuclear Safety Advisory Group [Электронный ресурс]. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub913e\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub913e_web.pdf) (дата обращения: 26.10.23)

УДК 004.942

## **РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОТЛОАГРЕГАТЕ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ**

Елизавета Станиславовна Валиуллина

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

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

elizavetazheltukhina@ya.ru

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы, связанные с выделением вредных веществ в окружающую атмосферу в процессе предоставления услуг в области энергоснабжения и управления коммунальными отходами в городах. Были исследованы различные аспекты, связанные с загрязнением атмосферного воздуха токсическими веществами и образованием парниковых газов в процессе применения существующих методов термической обработки отходов. Вопросы снижения содержания токсичных выбросов в продуктах сгорания изучаются на основе численного эксперимента средствами вычислительной гидродинамики (CFD). В работе показан процесс построения геометрии топки котла ТП-14А в ANSYS SCDM (SpaceClaim Direct Modeler) и выполнена генерация исходной сетки.

**Ключевые слова:** мусоросжигательные заводы, твердые отходы, атмосферные загрязнения, промышленность, оксиды азота, диоксины и фураны, промышленность, сжигание, численное моделирование.

## **DEVELOPMENT OF A DIGITAL MODEL OF FUEL COMBUSTION IN AN ENERGY BOILER UNIT TO FIND OPTIMUM WAYS TO REDUCE HARMFUL EMISSIONS**

Elizaveta S. Valiullina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

elizavetazheltukhina@ya.ru

**Abstract.** The work examines issues related to the release of harmful substances into the surrounding atmosphere in the process of providing services in the field of energy supply and municipal waste management in cities. Various aspects related to atmospheric air pollution with toxic substances and the formation of greenhouse gases during the application of existing thermal waste treatment methods were investigated. Issues of reducing the content of toxic emissions in combustion products are studied on the basis of a numerical experiment using computational fluid dynamics (CFD). The work shows the process of constructing the furnace geometry of the TP-14A boiler in ANSYS SCDM (SpaceClaim Direct Modeler) and generating the initial mesh.

**Keywords:** incineration plants, solid waste, atmospheric pollution, industry, nitrogen oxides, dioxins and furans, industry, combustion, numerical modeling.

Загрязнение атмосферы является одной из наиболее серьезных экологических угроз для здоровья человека. По мнению экспертов в области экологии, основную роль в загрязнении воздуха населенных пунктов играют стационарные источники, главным образом это объекты энергетической инфраструктуры и коммунального хозяйства, такие как установки очистки и полигоны твердых коммунальных отходов.

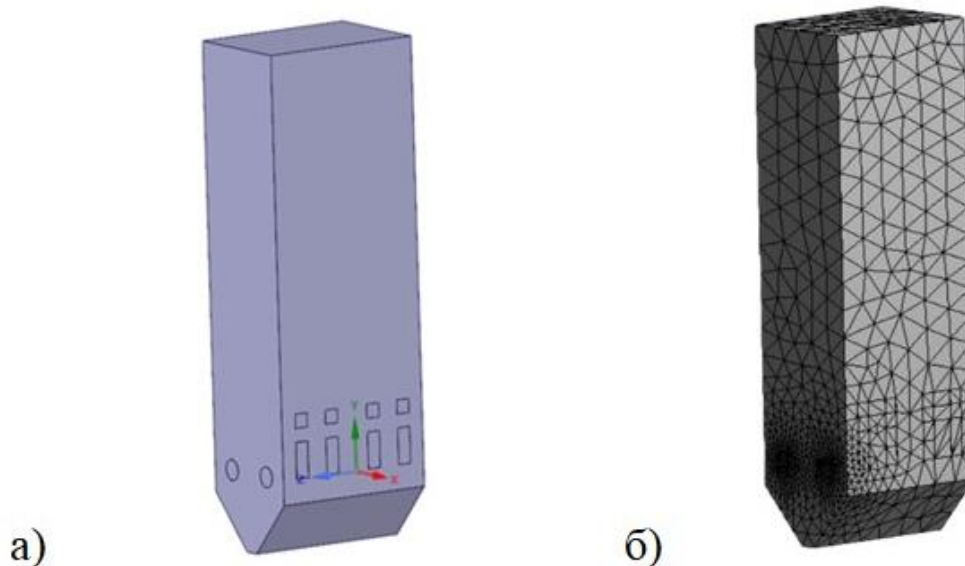
Рассматривая задачу с позиции проблемы национального здоровья населения и используя числовые рейтинги для оценки вредного воздействия загрязнителей, встречающихся в различных источниках, например, согласно методике [1], можно обнаружить, что воздействие объектов, связанных с энергетикой, на качество городского воздуха является преувеличенным.

Подсчет рейтингов источников выбросов с учетом токсичности загрязнителей [2] позволяет выяснить, что предприятия жилищно-коммунального хозяйства, занимающиеся обращением твердых и жидких коммунальных отходов, являются главными загрязнителями воздушного пространства городов. В свою очередь, как централизованные, так и децентрализованные генерирующие объекты и устройства, даже в совокупности, несут меньшую ответственность за это загрязнение.

Наиболее распространенным способом обработки отходов является их сжигание в качестве твердого топлива [3], в процессе которого образуются разнообразные химические соединения. Мусоросжигательные установки представляют собой главный источник выбросов полихлорированных дифенилдиоксинов и диоксиноподобных фуранов в атмосферу [4]. Чтобы избежать образования токсичных соединений при сжигании мусора, необходимо правильно установить последовательность преобразования исходных компонентов в зоне термического окисления [5].



Для возможности моделирования процесса сжигания топлива была выбрана конструкция топочного устройства котла Е-220/100 (ТП-14А, ОАО ТКЗ «Красный котельщик») и создана информационная модель в ANSYS SCDM (SpaceClaim Direct Modeler) и выполнена генерация исходной сетки (Рис. 1).



3D-модель топочной камеры котла ТП-14А в Ansys SpaceClaim:

а – без генерации сетки, б – со сгенерированной сеткой

Таким образом, разработанная численная модель может быть использована для моделирования химических процессов сжигания топлива и нахождения условий разложения наиболее характерных ингредиентов сжигаемых отходов.

### Источники

1. Зиганшин М.Г., Сивков А.Л. Система рейтинговой оценки деятельности организаций по признаку «низкоуглеродности» // Надежность и безопасность энергетики. 2016. Т. 4. С. 7-11.
2. 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.
3. 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.

4. Rigang Z., Chen W., Zuotai Z., Qingcai L., Zongwei C. PCDD/F levels and phase distributions in a full-scale municipal solid waste incinerator with co-incinerating sewage sludge // Waste Management. 2020. V. 106. P. 110–119.

5. Hongting Ma, Na Du, Xueyin Lin, Chaofan Liu, Jingyu Zhang, Zhuangzhuang Miao. Inhibition of element sulfur and calcium oxide on the formation of PCDD/Fs during co-combustion experiment of municipal solid waste // Science of the Total Environment. 2018. V. 633. P. 1263

УДК 621.039.9

## ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ПОЛЕТА НА МАРС

Елизавета Валерьевна Волкова

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

elizaveta\_volkova\_4@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются перспективы использования ядерной энергетики для полета на Марс, выявлены преимущества применения ядерной энергетики в космических полётах, и рассмотрена возможность пользования ракет на ядерной тяге.

**Ключевые слова:** полёт на Марс, ядерный реактор, безопасный уровень, ракета на ядерной тяге, развитие космической техники.

## APPLICATION OF NUCLEAR ENERGY FOR A FLIGHT TO MARS

Elizaveta V. Volkova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

elizaveta\_volkova\_4@mail.ru

**Abstract.** The article examines the prospects for using nuclear energy for a flight to Mars, identifies the advantages of using nuclear energy in space flights, and considers the possibility of using nuclear-powered rockets.

**Keywords:** flight to Mars, use of nuclear energy, nuclear reactor, crew life support, safe level, nuclear-powered rocket, development of space technology.

На данный момент для достаточного энергопитания космических аппаратов существуют солнечные батареи, химические источники энергии (аккумуляторы), но для более глубокого изучения явлений в космосе,

включая покорение дальнего космоса, необходимы более мощные энергетические ресурсы.

По оценкам ведущих разработчиков космической техники страны, существенно увеличить энергоёмкость космических аппаратов с помощью солнечных батарей практически невозможно из-за растущей площади солнечных элементов, а в случае межпланетного полета - из-за уменьшения мощности солнечного излучения с удалением от Солнца. В связи с этим наблюдается стремление вернуть в космос ядерную энергетику, которая не используется с конца 1980-х годов.

Одним из перспективных вариантов является применение ядерной энергетики в космических полетах. Ядерная энергия может иметь значительное преимущество в сравнении с другими источниками энергии, такими как солнечные батареи или химические топлива.

Существующие методы генерации энергии на базе ядерного реактора, такие как ядерные электростанции, могут быть адаптированы для использования на космических кораблях. Одним из вариантов является перевод тепловой энергии, создаваемой реактором, в электрическую энергию для питания многочисленных систем космического аппарата [1].

Преимущества такого подхода явны. Ядерная энергия обладает высокой энергоёмкостью, что позволит длительное время обеспечивать энергией системы жизнеобеспечения экипажа, системы навигации, коммуникации и другие системы, необходимые для успешного полета на Марс.

Более того, данная технология позволит значительно уменьшить массу и объем необходимых энергетических систем на корабле [2]. Это важно, так как в космических полетах каждый грамм веса имеет огромное значение и может оказать влияние на дальность полета и количество необходимого топлива.

Бобби Браун, директор по планетологическим исследованиям Jet Propulsion Laboratory реактивного движения и сопредседатель комитета, считает, что регулярное посещение людей Марса может быть осуществлено путём использования ракет на ядерной тяге, конкретная технология которой ещё не указана [3]. Ядерная тепловая тяга (NTP) представляет собой ракетный двигатель, в котором камера сгорания заменяется ядерным реактором и в качестве топлива сжигается жидкий водород. Ядерная электрическая тяга (NEP) преобразует тепло от реактора деления в электроэнергию, подобно электростанции на Земле, после путем ускорения ионизированного топлива, такого как ксенон, эта энергия

используется для создания тяги. Ядерная тяга требует значительно меньше топлива, чем химическая тяга, часто менее 500 метрических тонн [4].

Конечно, применение ядерной энергии в космических полетах связано с некоторыми рисками и сложностями. Однако, эти проблемы могут быть минимизированы и доведены до безопасного уровня благодаря накопленному опыту и современным технологиям [5].

В заключение следует отметить, что применение ядерной энергии для полётов на Марс является перспективным направлением развития космической техники. Это может стать важным шагом на пути к обеспечению будущего освоения космоса и человечества за пределами Земли. Однако, для обеспечения безопасности этой технологии и реализации наших амбициозных космических мечтаний необходимы дальнейшие исследования и разработки.

### **Источники**

1. Атомные технологии в космосе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://homo-science.ru/post/atomnye-tehnologii-v-kosmose> (дата обращения: 20.10.2023).

2. Ядерный ракетный двигатель для полётов на Марс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dzen.ru/a/YQxU8es8fBo67y0d> (дата обращения: 23.10.2023).

3. Ядерные технологии для космоса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://topwar.ru/174331-jadernye-tehnologii-dlja-kosmosa.html> (дата обращения: 26.10.2023).

4. Коротеев А.С., Акимов В.Н., Архангельский Н.И. и др. Ядерные ракетные двигатели: состояние разработки и перспективы применения. – Атомная энергия, 2019, т. 124, вып. 4, с. 206-211.

5. Ядерные технологии для космоса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://topwar.ru/174331-jadernye-tehnologii-dlja-kosmosa.html> (дата обращения: 27.10.2023). Атомная энергия в космосе [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://elib.biblioatom.ru/text/pedersen\\_atomnaya-energiya-v-kosmose\\_1967/go,0/](http://elib.biblioatom.ru/text/pedersen_atomnaya-energiya-v-kosmose_1967/go,0/) (дата обращения: 27.10.2023).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИДОВ ТОПЛИВА НА СОВРЕМЕННЫХ АЭС И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

Егор Алексеевич Вураско

Науч. рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
evurasko@gmail.com

**Аннотация.** В работе рассматриваются виды ядерного топлива, их характеристики, перспективы развития как существующих, так и разрабатываемых топлив. Представлены результаты сравнительного анализа, выявлены преимущества и недостатки материалов.

**Ключевые слова:** ядерное топливо, атомные электростанции, соединения урана, энергетический реактор, теплофизические свойства.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF FUELS AT MODERN NUCLEAR POWER PLANTS AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT

Egor A. Vurasko

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
evurasko@gmail.com

**Abstract.** The paper considers the types of nuclear fuels, their characteristics, prospects for the development of both existing and developed fuels. The results of the comparative analysis are presented, the advantages and disadvantages of the materials are revealed.

**Keywords:** nuclear fuel, nuclear power plants, uranium compounds, power reactor, thermophysical properties.

Ранее к ядерному топливу, применяемому на атомных электростанциях (АЭС), относились лишь вещества, включающие в свой состав делящиеся нуклиды:  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ . По мере развития атомной энергетики в ядерных реакторах использовались различные виды топлива.

Природный уран (металлическое топливо) используется в тепловых реакторах с тяжелой водой или графитом, замедляющими нейтроны. В состав топлив чаще всего входит обогащенный  $^{235}\text{U}$ .

Керамическое топливо на основе  $UO_2$  используется в большинстве реакторов, позволяя им работать при больших температурах. Оно совместно с различными конфигурациями тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ).

К керамическому топливу относятся и карбидные соединения урана. Из-за сравнительно малого объёма исследований карбида – в перспективах.

В энергетических реакторах также используется смешанное уран-плутониевое топливо, или смешанное оксидное топливо (МОКС от англ. Mixed-Oxide fuel). Применение такого топлива предполагается в основном в реакторах на быстрых нейтронах, но, как показывает практика, находит себя и в тепловых реакторах.

Нитридное топливо рассчитано на использование в новых типах быстрых реакторов и ядерных установках специального назначения. Смешанное нитридное уран-плутониевое топливо (СНУП-топливо) – экспериментальный вид керамического топлива. Оно перспективнее, чем МОКС-топливо, из-за лучших теплофизических свойств.

Уран-циркониевый карбонитрид обладает улучшенными теплофизическими свойствами. Однако малая изученность его поведения в реакторах и меньшая плотность ядер урана по сравнению с обычными топливными нитридами являются недостатками.

Помимо твёрдых соединений урана возможно использование жидкого топлива – тетрафторида урана. Его особенность в том, что он одновременно и топливо, и теплоноситель. Реакторы с жидким ядерным топливом имеют определенные перспективы развития в будущем [1].

Перспективным является и переход к ториевому топливному циклу. Торий-232 может использоваться в качестве как топливного сырья, так и самостоятельного ядерного топлива [2].

В таблице 1 приведены характеристики рассмотренных выше видов топлив, кроме жидкого топлива ( $UF_4$ ) [3-5].

Таблица 1.

Характеристики видов ядерного топлива

Топливо	Теоретическая плотность, г/см <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Температура плавления, К
$UO_2$	10,97	8,2 (при 300 К) 3,0 (при 2000 К)	3100
UC	13,63	25,0 (при 373 К)	2640
UC <sub>2</sub>	11,68	13,0 (при 473 К)	2740

УМо (металл. топливо)	17,39 (содержание Мо 9,5% по массе)	≈15,0 (при 300 К, содержание Мо 9% по массе)	1430 (содержание Мо 9% по массе)
МОКС	≈11,00	8,0 (при 473 К и стехиометрии)	2700-3120
UN	14,32	28,0 (при 2000 К)	3120
UZrCN	12,20	32,0 (при 2000 К)	3120
ThO <sub>2</sub>	9,82	8,2 (при 400 К)	3300

По данным таблицы можно определить, что наиболее подходящими для использования на АЭС материалами являются МОКС, нитридное и ториевое топливо. Такой вывод сделан на основе их температур плавления, которые являются наибольшими среди рассматриваемых. Большая температура плавления позволяет снизить риски расплавления активной зоны ядерного реактора в случае нарушения работы систем безопасности реакторной установки. Ещё немаловажными критериями являются: возможность использования и регенерации отработавшего ядерного топлива в составе МОКС и СНУП, возможность заменить <sup>238</sup>U на <sup>232</sup>Th, способным образовать ядерное топливо [2], относительно высокие теплопроводность и теоретическая плотность нитридных топлив, позволяющая снизить объёмы используемого топлива и толщину стенок твэлов, что тоже благотворно сказывается на безопасности активной зоны реактора в случаях превышения температуры.

### Источники

1. Ташлыков, О. Л. Основы ядерной энергетики: учебное пособие / О. Л. Ташлыков; [научный редактор С. Е. Щеклеин]; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2016. — 212 с. — ISBN 978-5-7996-1822-3.
2. Алексеев, С. В. Торий в ядерной энергетике / С. В. Алексеев, В. А. Зайцев. — Москва: Техносфера, 2014. — 288 с. — ISBN 978-5-94836-394-3.
3. Алексеев С. В., Зайцев В. А. Нитридное топливо для ядерной энергетики. М.: Техносфера, 2013. — 249 с. — ISBN 978-5-94836-374-5.
4. Том 7. ЯДЕРНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ / В. Г. Баранов, Ю. Г. Годин, А.В. Тенишев, А. В. Хлунов, В. В. Новиков. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 640 с.
5. Исследование свойств таблеточного уран-молибденового топлива для ВВЭР / Л. А. Карпюк, В. В. Новиков, Е. Н. Михеев [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Т. 132, № 1. – С. 10-14. – EDN DYCTVX.



## ПРИМЕНЕНИЕ ИНЖЕКЦИИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФОНТАНИРУЮЩЕГО СЛОЯ

Ксения Дмитриевна Вьюгова

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

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

Vjugova.k@yandex.ru

**Аннотация.** В данной статье приведено описание применения метода инжекции частиц в поток газа для моделирования фонтанирующего слоя. Представлены принципы и алгоритмы метода, приведены результаты численных экспериментов для демонстрации его эффективности. Показаны потенциальные преимущества применения метода инжекции, такие как возможность более точного моделирования физических процессов, улучшение прогнозов свойств фонтанирующего слоя и оптимизация работы топливоиспользующих устройств.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, дискретная модель частиц, инжекция топлива, фонтанирующий слой.

## TRIGENERATION SYSTEMS BASED ON GAS TURBINES

Ksenia D. Vyugova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Vjugova.k@yandex.ru

**Abstract.** This article describes the application of the method of particle injection into the gas flow for modeling the spouting layer. The principles and algorithms of the method are presented, and the results of numerical experiments are given to demonstrate its effectiveness. Potential advantages of the injection method are shown, such as the possibility of more accurate simulation of physical processes, improved predictions of the properties of the fluidized bed, and optimization of combustion systems.

**Keywords:** mathematical modeling, discrete particle model, fuel injection, fluidized bed.

В последние годы численное моделирование стало мощным инструментом в различных областях науки и техники, включая гидродинамику и энергетическую промышленность. Одной из интересных областей исследования является моделирование фонтанирующего слоя -

явления, где при определенном диапазоне скоростей воздуха (выше скорости псевдооживления, но ниже скорости пневмотранспорта) струя прорывается через слой и образует на выходе так называемую шапку фонтана. В слое образуется ярко выраженное ядро фонтана (наиболее интенсивная зона аппарата) и периферийная зона [1].

В данной работе при создании численной модели фонтанирующего слоя использован метод инъекции, который позволяет вводить различные физические или/и химические процессы в модель, что позволяет более точно учитывать особенности фонтанирующего слоя и его влияние на окружающую среду.

С учетом, что фонтанирование осуществляется преимущественно в цилиндрической части аппарата, за основу была взята двумерная модель котельной установки с размерами 600x200 мм (рис.1).

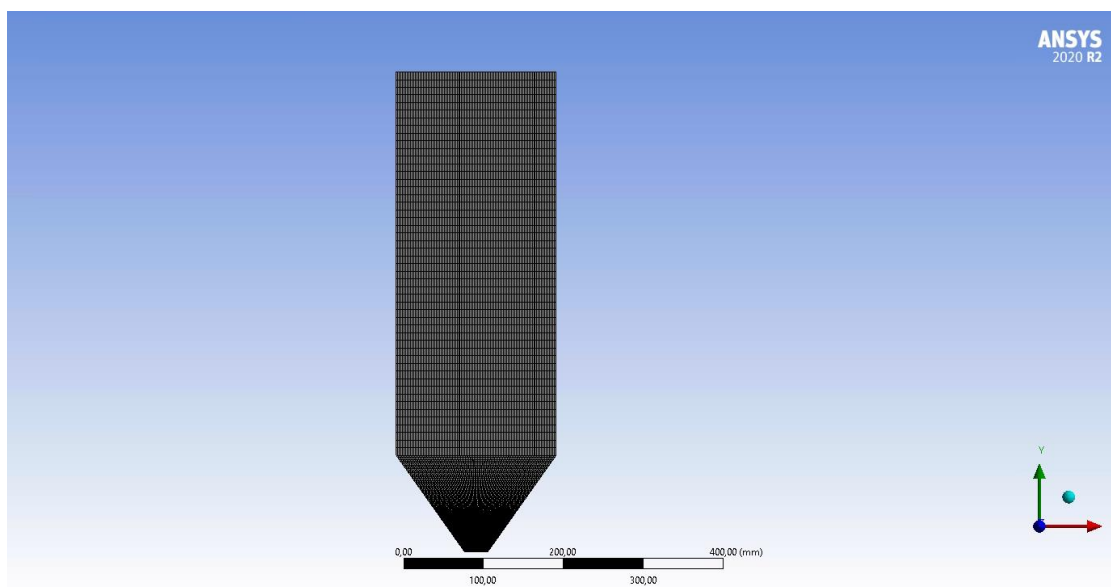


Рис. 1. Расчетная сетка геометрической модели котельной установки

Для численного моделирования двухфазного течения использовались неструктурированные расчетные сетки. Общее количество элементарных ячеек в применяемых расчетных сетках около  $0.5 \times 10^6$ , причем выполнено сгущение вблизи входа - inlet, выхода – outlet, и в областях с наиболее высоким уровнем градиентов гидродинамических параметров течения.

Для моделирования двухфазного течения в цилиндрической части аппарата применялся комбинированный подход Лагранжа-Эйлера, также известный как модель DPM (Discrete Phase Model) [2]. Для описания характеристик газовой фазы решается система уравнений Навье-Стокса, усредненных по Рейнольдсу, записанная для вязкой сжимаемой

непрерывной среды [3], дополненная, в свою очередь, уравнением состояния идеального газа. Была применена двухпараметрическая модель турбулентности  $k-\omega$  SST [4-6]. Выбор модели турбулентности  $k-\omega$  SST обусловлен ее возможностью плавного перехода от модели  $k-\omega$  к модели  $k-\epsilon$  в области близости к стенке с низкими числами Рейнольдса и использованием свободного потока. Следует отметить, что данная модель широко используется в работах в области вычислительной газодинамики.

Параметры инъекции частиц в воздушную смесь задаются с использованием модели "Discrete Phase Model", где в качестве исходного материала служил антрацит (для упрощения расчетов). Положение инъекции: (0,1; 0), то есть в области inlet, оказалось наиболее удачным для проведения расчетов. Закон сопротивления движения частиц в воздухе был принят согласно модели Syamlal-Obrien, скорость газа на входе – 10 м/с. На рис. 2 представлены значения скорости потока воздуха, обеспечивающие подъем инжектируемых частиц по центру модели с начальной скоростью 10 м/с и их опускное движение по периферии у внутренних стенок цилиндрической и конической частей модели со скоростью 2,5-3,5 м/с.

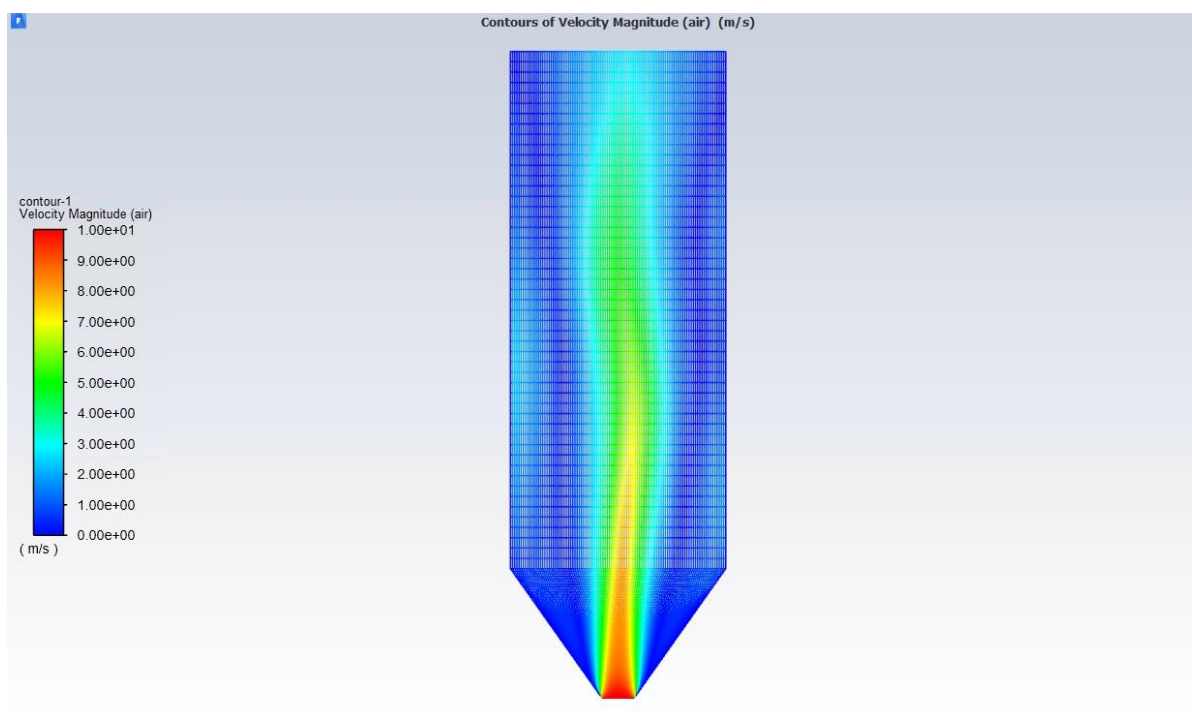


Рис. 2. Результаты численного моделирования

Таким образом, результаты исследования, представленные на рис.2, показывают, что использование метода инъекции позволяет достаточно

точно моделировать фонтанирование частиц в цилиндроконическом аппарате. Созданная численная модель может послужить вспомогательным аппаратом к дальнейшему изучению гидродинамики фонтанирующего слоя.

### Источники

1. Матур К., Эпстайн Н. Фонтанирующий слой. – 1978.
2. Deen N. G. et al. Review of discrete particle modeling of fluidized beds // Chemical engineering science. – 2007. – Т. 62. – №. 1-2. – С. 28-44.
3. Morsi S.A., Alexander A.J. An Investigation of particle trajectories in two-phase flow systems // J. Fluid Mech. 1972. Vol. 55, No. 2. P. 193–208.
4. Langtry R.B., Menter F.R. Correlation-based transition modeling for unstructured parallelized computational fluid dynamics codes // AIAA J. 2009. Vol. 47, No. 12. P. 2894–2906.
5. Замалиева А.Т., Зиганшин М.Г. Повышение энергетической и экологической эффективности систем газоочистки на ТЭС. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 9. С. 143-153.
6. Вьюгова К. Д. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ФОНТАНИРУЮЩЕГО СЛОЯ//Тинчуринские чтения-2022" Энергетика и цифровая трансформация". – 2023. – С. 33-36.

УДК 621.3.084.872

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Фарит Ринатович Гайнутдинов

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

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

ebkkk@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются перспективные источники питания с улучшенными характеристиками мощности и быстродействия. Обсуждается будущее развития химических источников тока (ХИТ), их потенциал для улучшения энергетической эффективности и устойчивости энергетических систем.

**Ключевые слова:** химический источник тока, энергетическая эффективность, экологическая устойчивость ХИТ, интеграция аккумуляторов с возобновляемыми источниками энергии.

# PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CHEMICAL CURRENT SOURCES

Farit R. Gainutdinov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
ebkkk@yandex.ru

**Abstract.** The article discusses promising power supplies with improved power and performance characteristics. The future development of chemical current sources (HIT) and their potential for improving energy efficiency and sustainability of energy systems are discussed.

**Keywords:** chemical current source, energy efficiency, environmental sustainability of HIT, integration of batteries with renewable energy sources.

С целью принятия эффективных и экологически устойчивых решений в энергетике, обращается внимание на развитие технологий химических источников тока (ХИТ). Спрос на устойчивые источники питания, с каждым годом возрастает, это связано с их широким применением в качестве накопителей энергии [1]. Исследователи и инженеры разрабатывают новые типы аккумуляторов: литий-серные, литий-воздушные, графеновые и другие, которые обладают значительной энергетической плотностью [2]. Сравнительная характеристика наиболее перспективных химических источников тока представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики перспективных аккумуляторов

Характеристика	Тип				
	Литий-серный	Металл-воздушный	Флуоридный	Натрий-ионный	Графеновый
Номинальное напряжение, В	3,7	3,12	3,2	3,6	3,6
Удельная энергия, Вт·ч/кг	300-550	400-1000	200-400	100-200	1000
Энергетическая плотность, кВт·ч/м <sup>3</sup>	500-700	1500-2000	Нет точных данных	250-420	Нет точных данных
Температура, °С	от -20°С до +60°С	от -10°С до +50°С	+200°С до +400°С.	-20°С до +60°С.	от -20°С до +60°С.
Безопасность	не безопасен	безопасен	безопасен	безопасен	безопасен

Повышение энергетической плотности ХИТ улучшает их производительность. С этой целью изучаются новые высокоэнергетические материалы электродов, например, двумерные наноматериалы группы MXene. Применение активных металлов в качестве электродов приводит к значительному увеличению производительности аккумулятора [3-4].

Оптимизация дизайна аккумулятора приводит к большей площади поверхности электродов. Изучаются возможности литий-серные аккумуляторы, имеющие в два раза большую энергетическую плотность, чем литий-ионные. Увеличение энергетической плотности аккумулятора связано с компромиссами в других аспектах, таких как циклическая стабильность, совершенствование структуры электролита.

Улучшение безопасности и экологической устойчивости аккумуляторов является важной задачей в разработке современных энергетических накопителей. Способами повышения экологической устойчивости считаются: использование безопасных материалов; усиление защитных механизмов устройств; системы управления энергией, оптимизация процессов переработки и утилизации ХИТ.

Выбор безопасных и экологически чистых материалов для аккумуляторов одно из направлений развития технологий ХИТ. Например, переход от свинцово-кислотных аккумуляторов к литий-ионным позволяет избежать использования опасных веществ.

Разработка аккумуляторов с усиленными системами безопасности, такими как системы защиты от перегрева, короткого замыкания или перенапряжения, помогает предотвратить возможные аварийные ситуации и повреждения. Более эффективные системы управления аккумуляторами, включая балансировку заряда и разряда между ячейками, может предотвратить неравномерное использование аккумулятора и повысить его безопасность и долговечность.

Важным шагом в направлении создания более экологически устойчивых аккумуляторов является переработка их утилизация. Химико-технологические процессы переработки аккумуляторов, на основе экстракции с применением эвтектических растворителей, позволяют минимизировать воздействие на окружающую среду.

Интеграция аккумуляторов с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) является эффективным способом повышения эффективности и стабильности системы энергоснабжения [5]. В периоды низкой производительности ВИЭ, энергия аккумулируется в аккумуляторах и используется во время пикового спроса, что позволяет

сгладить колебания и обеспечить стабильное энергоснабжение. Переключение нагрузки на аккумуляторы в периоды пикового спроса или высоких тарифных ставок позволяет снизить расходы на электроэнергию при этом оптимизировать использование возобновляемых ресурсов.

### **Источники**

1. Опыт поддержки развития технологий накопления энергии в зарубежных странах / Л.В. Калимуллин, Д.К. Левченко, Ю.Б. Смирнова, Е.С. Тузикова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. — 2019. — № 2. — С. 341-351.

2. Кулова Т.Л., Скундин А.М. От литий-ионных к натрий-ионным аккумуляторам // Электрохимическая энергетика. 2016. – №3. – С.122-150.

3. Козадеров, О. А. Современные химические источники тока : учебное пособие / О. А. Козадеров, А. В. Введенский. — 3-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 132 с.

4. Коровин, Н.В. Справочник. Химические источники тока / Н.В. Коровин, А.М. Скундин. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 740 с.

5. Slater M. D., Kim D., Lee E., Johnson Ch. S. Sodium-Ion Batteries // Adv. Funct. Mat. 2013. Vol. 23. P. 947–958

УДК 620.9

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ: ВЫЗОВЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

Алия Мансуровна Гарипова

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

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

Garipovaalia1808@gmail.com

**Аннотация.** Данная статья обсуждает экологические проблемы в теплоэнергетике и предлагает ряд решений для снижения негативного воздействия на окружающую среду. Рассматривается необходимость перехода к экологически устойчивым источникам энергии, улучшение энергоэффективности, утилизацию отходов и регулирование выбросов. Также подчеркивается важность вовлечения общественности и создание партнерств между государственными органами, частным сектором и общественными организациями. Образование и осведомленность о экологических проблемах также играют важную роль в достижении устойчивой теплоэнергетики.



**Ключевые слова:** экологические проблемы, теплоэнергетика, источники энергии, энергоэффективность, утилизация, регулирование выбросов, информирование.

## **ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN THERMAL POWER ENGINEERING: CHALLENGES AND SOLUTIONS**

Aliya M. Garipova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Garipovaalia1808@gmail.com

**Abstract.** This article discusses environmental problems in the thermal power industry and proposes a number of solutions to reduce the negative impact on the environment. The need to transition to environmentally sustainable energy sources, improve energy efficiency, waste management and emission regulation is addressed. It also emphasizes the importance of public engagement and the creation of partnerships between government agencies, the private sector and community organizations. Education and awareness of environmental issues also play an important role in achieving sustainable thermal energy.

**Keywords:** environmental problems, thermal power engineering, energy sources, energy efficiency, recycling, emissions regulation, information.

Теплоэнергетика играет важную роль в обеспечении энергии для отопления и горячего водоснабжения во многих странах. Однако, вместе с ее преимуществами, существуют и значительные экологические проблемы, связанные с процессами производства и использования тепла.

### **Источники энергии и выбросы парниковых газов**

Самым распространенным источником энергии в теплоэнергетике является сжигание ископаемого топлива. Данное обстоятельство приводит к выбросу избыточного углекислого газа (CO<sub>2</sub>), что в свою очередь способствует глобальному потеплению и климатическим изменениям [1]. Для решения проблемы требуется модернизировать теплоэнергетические системы и применять технологии использования экологически чистых источников энергии. Также решением указанной проблемы является увеличение использования возобновляемых источников [2].

### **Воздействие на окружающую среду**

Образовавшиеся при сжигании органического топлива, вредные вещества, таких как диоксид азота (NO<sub>2</sub>) и сернистый ангидрид (SO<sub>2</sub>), могут вызывать кислотные дожди и загрязнять водоемы, повреждая экосистемы и влияя на здоровье людей и животных. Снижение негативного воздействия может быть достигнуто с помощью применения

технологий очистки выбросов и установки современных систем фильтрации. Также важно проводить регулярный мониторинг состояния окружающей среды вблизи теплоэнергетических установок, чтобы контролировать и предотвращать возможные негативные воздействия [3].

### **Утилизация отходов и повышение энергоэффективности**

В процессе производства тепла также образуются отходы, такие как зола, шлаки и другие. Их неправильная утилизация может приводить к загрязнению почвы и водной среды. Необходимо отметить, что современные технологии позволяют повторно использовать шлак в строительстве дорог или производстве стройматериалов [4]. Внедрение современных технологий и оборудования, таких как котлы с высоким коэффициентом эффективности и системы тепловой изоляции, позволяют снизить потери и повысить эффективность процесса.

### **Необходимость регулирования и стандартизации**

Для эффективного решения проблем важно введение строгого регулирования и стандартизации процессов. Государственные органы и международные организации должны разработать и соблюдать требования по эмиссиям вредных веществ, а также устанавливать стандарты для энергоэффективности и экологической безопасности теплоэнергетических установок. Проведение регулярных проверок и мониторинга соответствия стандартам поможет предотвратить ненадлежащую эксплуатацию и замедлить негативное воздействие на окружающую среду [5].

### **Сознательность и образование**

Наконец, чрезвычайно важно обращать внимание на осведомленность в области теплоэнергетики. Общественное сознание и осведомленность о проблемах, связанных с теплоэнергетикой, помогут продвинуться вперед в направлении более устойчивой и экологически ответственной энергетической системы. Это может включать образовательные программы и поддержку исследований в области экологически устойчивых решений.

### **Эффективность использования тепла**

Другим важным аспектом является улучшение эффективности использования тепла. Внедрение энергоэффективных технологий, таких как современные системы теплоизоляции, терморегулирующие устройства и утилизация тепловой энергии, поможет снизить потребление топлива и выбросы вредных веществ. Более эффективное использование ресурсов приведет к сокращению негативного воздействия на окружающую среду и оптимизации процессов теплоэнергетики [6].

### **Инновационные решения**

Партнерство между государственными органами, общественными организациями и частным сектором являются ключевыми факторами для успешного решения проблем. Необходимо создавать платформы для обмена опытом, которые могут включать разработку инновационных проектов и программ, направленных на сокращение выбросов и улучшение экологической эффективности внутри сектора теплоэнергетики [7].

В целом, экологические проблемы в теплоэнергетике являются серьезными вызовами, требующими многостороннего подхода и сотрудничества всех заинтересованных сторон. Совместные усилия государственных органов, компаний и общественности будут способствовать созданию устойчивой и экологически безопасной теплоэнергетики, которая будет служить интересам общества и природы на долгие годы вперед.

### Источники

1. Что такое низкоуглеродная энергетика? [Электронный ресурс]. <https://xn--870-iddfg5dar7d.xn--p1ai/faq/cto-takoe-nizkouglerodnaya-energetika> (дата обращения: 25.09.23).

2. Что такое зеленые технологии: принципы и название [Электронный ресурс]. <https://promenter.ru/fakty/cto-takoe-zelenye-technologii-principy-i-nazvanie> (дата обращения: 25.09.23).

3. Конспект лекции по учебной дисциплине вариативной части профессионального цикла // Технология очистки газовых выбросов. [Электронный ресурс]. [https://svgorbatko.ucoz.ru/TOGV/lekcii\\_ogv.pdf](https://svgorbatko.ucoz.ru/TOGV/lekcii_ogv.pdf) (дата обращения: 25.09.23).

4. Шубов Л. Я. Скобелев К. Д. Загорская Д. А. Вторичные ресурсы, образующиеся в сфере теплоэнергетики // Энциклопедия технологий. [Электронный ресурс]. [https://www.eipc.center/pdf/resurse/chpt\\_15.pdf](https://www.eipc.center/pdf/resurse/chpt_15.pdf) (дата обращения: 25.09.23).

5. Месробян Н.Х. Курс лекций по дисциплине «Обеспечение экологической безопасности при работах в области обращения с опасными отходами», Махачкала, ДГТУ, 2023 г.- 98 с. [Электронный ресурс]. [https://dstu.ru/sveden/files/Kurs\\_lekciy\\_Obespechenie\\_ekologicheskoy\\_bezopasnosti\\_pri\\_rabote\\_s\\_otходami.pdf](https://dstu.ru/sveden/files/Kurs_lekciy_Obespechenie_ekologicheskoy_bezopasnosti_pri_rabote_s_otходami.pdf) (дата обращения: 25.09.23).

6. Ключева Е. В. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Энергосбережение и энергетический менеджмент», Брест, БрГТУ, 2022г. - 150 с. [Электронный ресурс]. <https://rep.bstu.by/bitstream/handle/data/33399/%D0%AD%D0%A3%D0%9C>

%D0%9A%20%D0%AD%D0%B8%D0%AD%D0%9C.pdf?sequence=1&isAll  
owed=y (дата обращения: 25.09.23).

7. UNFCCC. (2019). Четвертый двухгодичный доклад Российской Федерации по Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. [Электронный ресурс]. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/124785\\_Russian%20Federation-BR4-2-4BR\\_RUS\\_rev.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/124785_Russian%20Federation-BR4-2-4BR_RUS_rev.pdf) (дата обращения: 25.09.23)

УДК 004.94

## **СОЗДАНИЕ 3D-ГЕОМЕТРИИ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ЦИКЛОНА ЦН-11-200 СРЕДСТВАМИ ANSYS SPACECLAIM И ЕЕ СЛОЖНОСТИ**

Сергей Викторович Горбунов

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

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

gorbunovserega88@gmail.com

**Аннотация.** ANSYS SpaceClaim - удобный инструмент прямого моделирования твердотельных и листовых объектов, позволяющий создавать новую либо дорабатывать импортированную геометрию методами, применяемыми в современных САД-пакетах. Однако при генерации расчетной сетки для создания численных моделей объектов с проточной частью усложненной формы часто возникают сложности, вызываемые недоработками программных продуктов. В работе рассмотрены некоторые затруднения, возникшие при создании численной модели циклона ЦН-11-200 с наклонным патрубком и пути их преодоления.

**Ключевые слова:** Очистные устройства, циклонный сепаратор, ANSYS SpaceClaim, геометрическая модель, расчетная сетка.

## **CREATION OF 3D GEOMETRY OF THE NUMERICAL MODEL OF CYCLONE TSN-11-200 BY MEANS OF ANSYS SPACECLAIM AND ITS COMPLEXITY**

Sergei V. Gorbunov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

gorbunovserega88@gmail.com

**Abstract.** ANSYS SpaceClaim is a convenient tool for direct modeling of solid-state and flying objects, which allows you to create new or modify imported geometry using methods used in modern CAD packages. However, when generating a computational grid for

creating numerical models of objects with a flow part of a complicated form, difficulties often arise caused by software flaws. The paper considers some difficulties that arose when creating a numerical model of the cyclone TSN-11-200 with an inclined nozzle and ways to overcome them.

**Keywords:** Cleaning devices, cyclone separator, ANSYS SpaceClaim, geometric model, calculation grid.

Очистные устройства с циклонированием двухфазных газовых потоков широко распространены в мире, и исследования по повышению их эффективности интенсивно ведутся во многих странах. Как за рубежом, так и в РФ выполняются также численные исследования работы циклонных аппаратов [1-3].

Ранее по методике [4] численного исследования трехмерной геометрии циклонного сепаратора [5] была построена модель с горизонтальным расположением входного патрубка.

В данной работе создается 3D-геометрия численной модели циклона ЦН-11-200. Для исследования был использован многофункциональный программный продукт Ansys SpaceClaim. Он способен устранить проблемные места геометрии, связанные с различными 3D-операциями, осуществить проектирование и/или концептуальное моделирование, устранить общие дефекты, произвести полное редактирование модели, и при наличии - восстановить САД-файлы. К числу объектов с непростой геометрией и, соответственно, с очень сложной структурой течения, относятся и исследуемые в данной работе циклонные сепараторы возвратно-поточного типа.

В задачу входило построение модели циклона типа ЦН-11. Ее отличие от очистных аппаратов с горизонтальным вводом очищаемого двухфазного потока заключается в отклонении входного патрубка аппарата от горизонтали на  $11^\circ$  (рис. 1).



Рис.1. Конструкция циклона типа ЦН-11

Процесс очистки происходит следующим образом. Воздух внутри циклона вступает в сложное вращательно-поступательное движение. При перемещении по криволинейной траектории на взвешенные частицы действует сила инерции, которая стремится сместить их с криволинейных линий тока по касательным, направленным к стенке корпуса и под некоторым углом вниз.

В ходе работы над этой моделью мы столкнулись с трудностями, которые сильно усложнили процесс построения 3D-геометрии конструкции. Программный инструмент SpaceClaim (ANSYS 2020 R2) отказывается редактировать модель с вращением на  $360^\circ$ , что необходимо для построения будущего патрубка под углом к горизонтали  $11^\circ$ . На рис. 2 показан процесс построения патрубка.

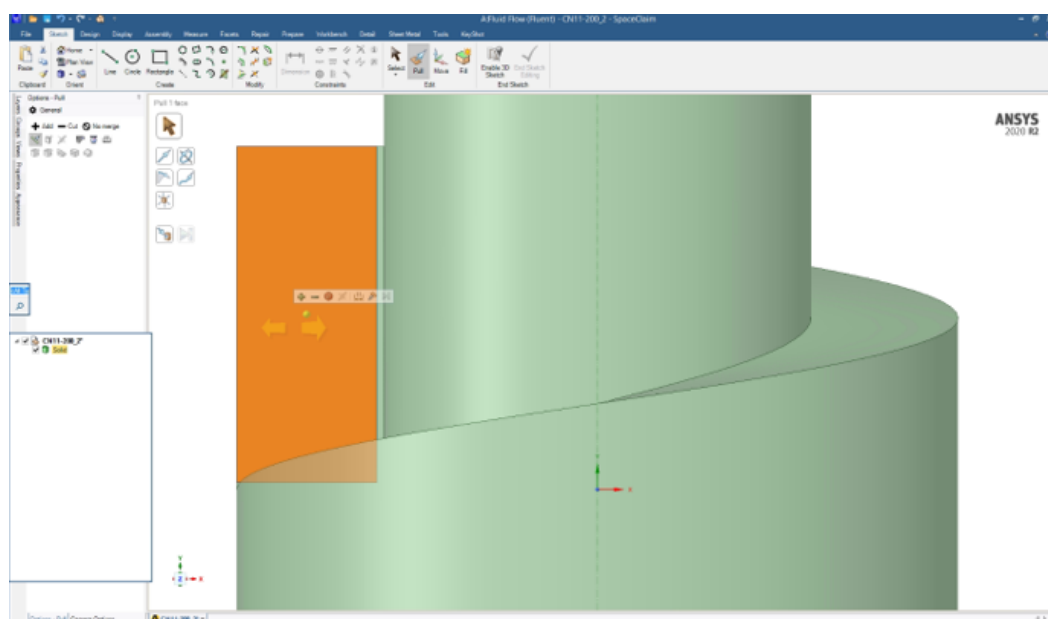


Рис. 2. Процесс создания наклонного патрубка

Создание дополнительной площадки на этой же поверхности с планками шириной 2 мм помогло завершить процесс создания наклонного патрубка (рис.3).

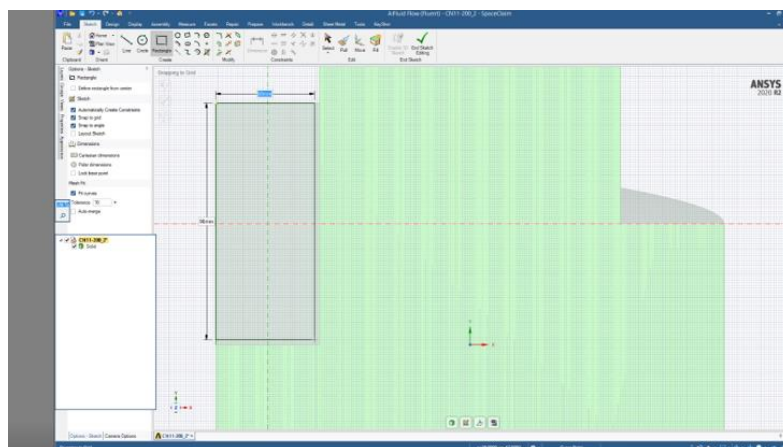


Рис. 3. Построение дополнительной площадки

Данный прием можно использовать в программном инструменте SpaceClaim при создании разного вида катушек и спиралей, а также крепёжных изделий для соединения или фиксации деталей, таких как винт, болт, шуруп и т.д.

### Источники

1. Zhao B., Wang D., Su Y. Gas-Particle Cyclonic Separation Dynamics: Modeling and Characterization // Separation and Purification Reviews. 2018. pp. 3-31.

2. Chu K. W., Chen J., Wang B. Understand solids loading effects in a dense medium cyclone: effect of particle size by a CFD-DEM method // Powder Technology. 2017. N320. pp. 112-174.

3. Замалиева А.Т., Зиганшин М.Г. Усовершенствованная установка фильтрации газа на ТЭС при подготовке топлива для городских энергетических систем // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т.21. №5. С.124-131. doi:10.30.724/1998-9903-2019-21-5-124-131.

4. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Бадретдинова Г.Р. Компьютерные технологии при проектировании технологических процессов : практикум – Казань: КГЭУ, 2021.

5. Даминов Р.Р., Горбунов С.В., Зиганшин М.Г. Построение 3D-геометрии циклона ЦН-15 для численного исследования эффективности сепарации // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика (Казань, 6-7 декабря 2022 г.). – Казань: Центр публикационной активности КГЭУ, 2022. – Т.2. С. 15-18.



## **ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ НА БАЗЕ RENGA ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ**

Рустем Ренатович Даминов

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

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

rusdaminov2@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена применению BIM-технологий на базе Renga для моделирования систем вентиляции. Рассматриваются преимущества использования BIM при проектировании таких систем, как выявление коллизий, оптимизация дизайна и сокращение затрат. Дается обзор возможностей Renga с удобным интерфейсом и широким набором инструментов. Описываются спецификации Renga для моделирования вентиляции, включая параметрическое моделирование, интеграцию с другими системами и расчетные инструменты. Делается вывод об эффективности Renga для проектирования систем вентиляции.

**Ключевые слова:** BIM-технологии, Renga, моделирование, вентиляция, проектирование систем вентиляции.

## **APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES BASED ON RENGA FOR MODELING VENTILATION SYSTEMS**

Rustem R. Daminov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rusdaminov2@gmail.com

**Abstract.** The article is dedicated to the application of BIM technologies based on Renga for the modeling of ventilation systems. It explores the advantages of using BIM in the design of such systems, including clash detection, design optimization, and cost reduction. An overview of Renga's capabilities with its user-friendly interface and a wide array of tools is provided. The article describes Renga's specifications for ventilation modeling, including parametric modeling, integration with other systems, and computational tools. It concludes by emphasizing the effectiveness of Renga in the design of ventilation systems.

**Keywords:** BIM technologies, Renga, modeling, ventilation, ventilation system design.

В современном строительстве цифровые технологии стали ключевыми для оптимизации процессов проектирования, строительства и эксплуатации зданий. В частности, BIM (Building Information Modeling) представляет собой одну из методологий, которая преобразовала подход к разработке и управлению строительными проектами.

BIM — это не просто 3D-моделирование, но и интеграция разнообразной информации о здании в одну цифровую модель, которая может быть использована на всех этапах объекта — от идеи до сноса. Эта методология позволяет участникам проекта полноценно сотрудничать, предоставляя возможность лучше понимать проект, прогнозировать и решать потенциальные проблемы, а также управлять затратами и сроками строительства [1].

Системы вентиляции являются важной частью любого современного здания, обеспечивая комфортное и безопасное пребывание его обитателей [2].

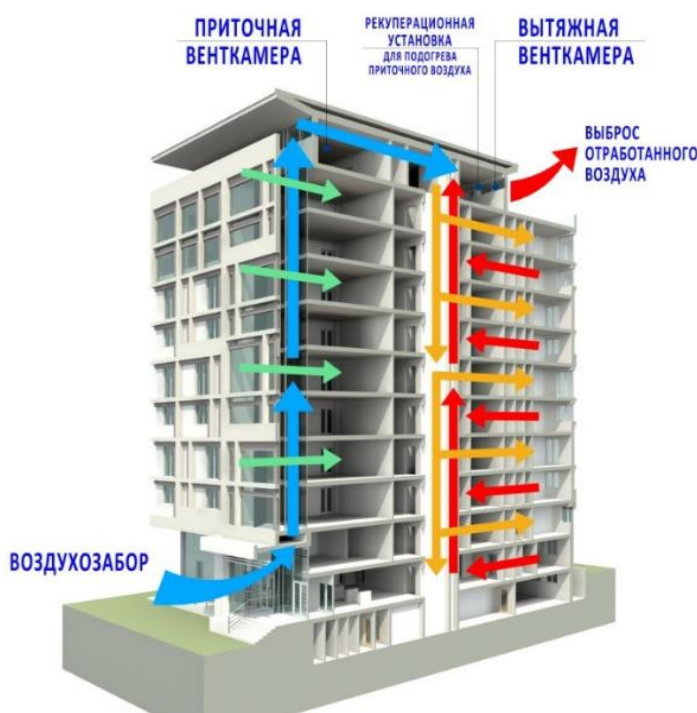


Рис. 1. Система вентиляции здания

Применяя BIM при проектировании таких систем, можно добиться ряда преимуществ [3]:

**Выявление коллизий на ранних этапах:** Предварительное обнаружение и устранение пересечений вентиляционных систем с другими инженерными системами.

**Оптимизация дизайна:** Возможность легко вносить изменения и видеть их последствия на всю систему в реальном времени.

**Сокращение затрат:** Благодаря точному моделированию и расчетам уменьшаются издержки на материалы и труд, а также уменьшается риск дорогостоящих ошибок на этапе строительства.

**Улучшенное взаимодействие между участниками проекта:** Все участники команды работают над одной моделью, что обеспечивает ясное понимание проекта всеми его участниками.

### **Общий обзор программы Renga**

Renga — это современное BIM-решение, предназначенное для проектирования архитектурных, строительных и инженерных объектов. Одной из основных областей применения является моделирование систем вентиляции [4].

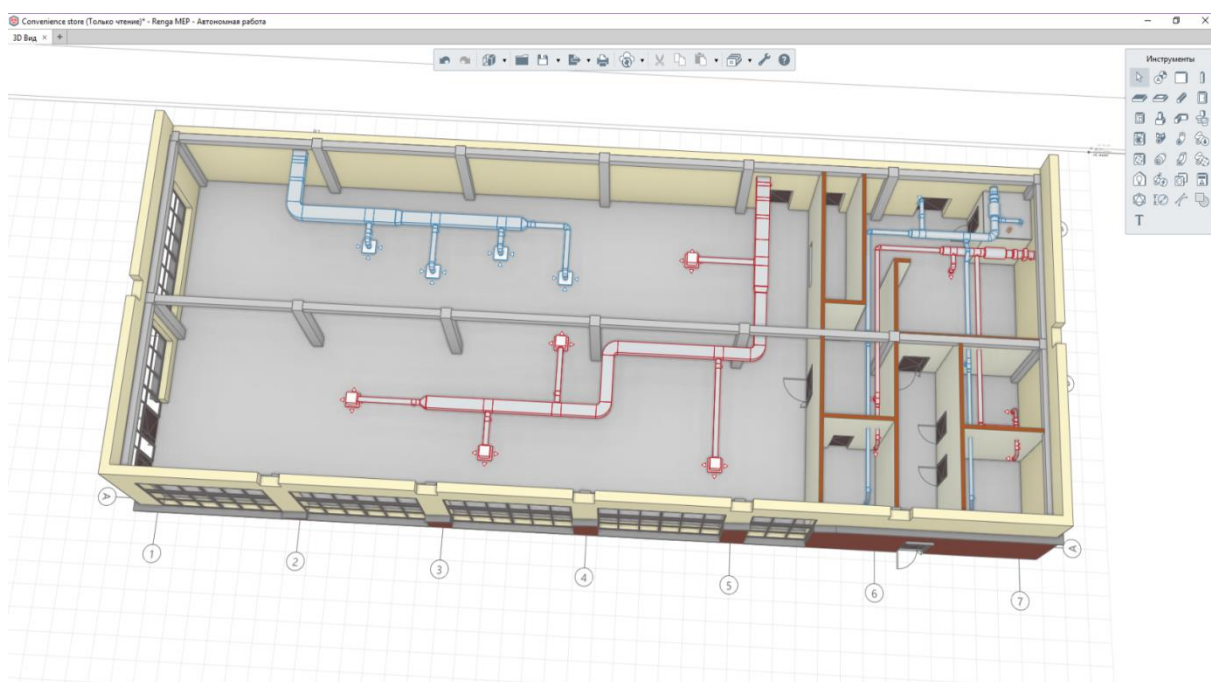


Рис. 2. Моделирование систем вентиляции в ПО Renga

Renga разработана с учетом потребностей проектировщиков различных специализаций. Она обеспечивает гибкость и удобство в работе благодаря интуитивно понятному интерфейсу и широкому набору инструментов. Пользователи могут создавать сложные трехмерные модели, а также автоматически формировать рабочую документацию на их основе.

### **Спецификации инструментов для моделирования вентиляции**

**Библиотека объектов:** Renga предоставляет обширную библиотеку ГОТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ для систем вентиляции, таких как воздуховоды, фитинги, решетки, вентиляторы и другие компоненты [3].

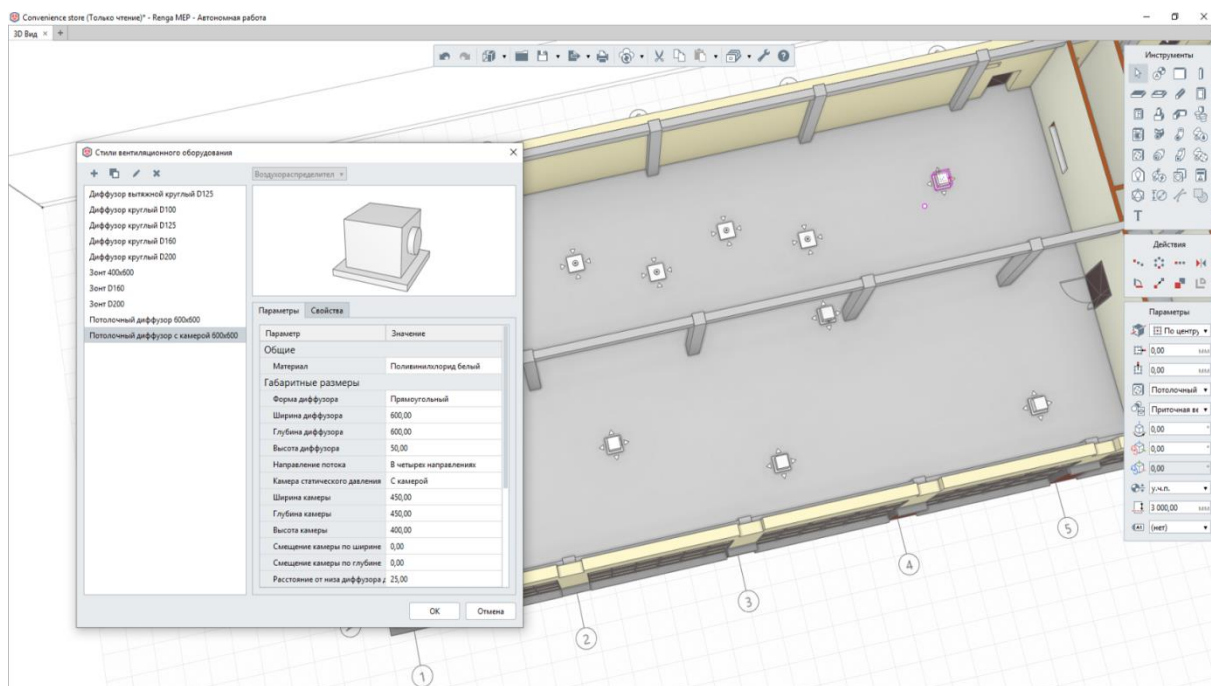


Рис. 3. Библиотека элементов для систем вентиляции

**Параметрическое моделирование:** Пользователи могут настраивать размеры и характеристики элементов системы вентиляции, а также создавать свои собственные параметрические объекты.

**Интеграция с другими системами:** В Renga можно легко интегрировать модели систем вентиляции с другими инженерными системами здания, такими как отопление и водоснабжение.

**Автоматическое обнаружение коллизий:** Программа позволяет автоматически обнаруживать пересечения между элементами системы вентиляции и другими объектами модели, что упрощает процесс корректировки ошибок на этапе проектирования.

**Расчетные инструменты:** Renga может выполнять различные инженерные расчеты, связанные с системами вентиляции, включая определение потребного объема воздуха, расчет потерь давления и другие.

Renga предоставляет обширные функциональные возможности для моделирования систем вентиляции, оптимизируя процесс проектирования и обеспечивая требуемое качество выполненных работ. Наличие широкого спектра инструментов, интуитивно понятный интерфейс и интеграция с

другими BIM-решениями обеспечивают применимость Renga в задачах проектирования систем вентиляции [5].

### **Источники**

1. СП 60.13330.2020 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

2. Хуснутдинова, А.Р., Зиганшин, М.Г. Цифровое информационное моделирование зданий на основе ПО REVIT И Renga / А.Р. Хуснутдинова, М. Г. Зиганшин // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : материалы VIII Национальной научно-практической конференции (Казань, 8–9 декабря 2022 г.). — Казань: Центр публикационной активности КГЭУ, 2023. — С. 453-455.

3. Smart BIM в О и В. Информационное моделирование в отоплении и вентиляции = Smart BIM in HVAC. Information Modeling in Heating and Ventilation Systems: Изд. 2-е, перераб. и дополн. / А.М. Зиганшин, М.Г. Зиганшин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2019. – 349 с.

4. Ковальчук Ю.Л. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК Пресс, 2011. 192 с.

5. Куликова Е.Ю., Забелина Н.А. BIM - технологии в задачах проектирования систем вентиляции // АВОК. 2018. №8. С. 56-61.

УДК 621-313.3

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

Александр Андреевич Ельченков

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент. Альфия Шарифовна Низамова

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

aleksandr-su-dh@mail.ru

**Аннотация.** В статье предложена сравнительная характеристика принципиальных тепловых схем АЭС для усовершенствования и показания данных, конструктивного изменения в турбоустановках. В работе описаны данные турбины типа «К», устанавливающиеся на АЭС.

**Ключевые слова:** энергетика, характеристики, станция, мощность, давление, энергоэффективность.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF THERMAL CIRCUIT NUCLEAR POWER PLANTS

Alexander A. Elchenkov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
Aleksandr-su-dh@mail.ru

**Abstract.** The article proposes a comparative description of the basic thermal diagrams of nuclear power plants for improvement and display of data, design changes in turbine units. The report describes data of the «K» type turbine, since only these turbines are installed at nuclear power plants.

**Keywords:** energy, characteristics, station, power, pressure, energy, efficiency.

Растущий спрос на энергию как тепловую, так и электрическую растет с каждым годом. Основной целью и задачей, стоящей перед проектировщиками, является экономическое обоснование, достижение максимальной энергоэффективности [5], увеличение показателей, гибкости в эксплуатации и увеличение надежности станции [1].

На энергетическом рынке происходит увеличение спроса на более мощные технические решения, чем те, которые уже имеются. В связи с этим возникает потребность в новых проектных решениях [5], а также в сравнении принципиальных тепловых схем электростанций, в том числе атомных. В настоящее время появляются более успешные и экономически выгодные конструкторско-технические решения.

Для более наглядного примера рассмотрим основные характеристики [2] паровых турбоустановок Российской Федерации:

Таблица 1

Основные показатели	Турбины		
	К-220-44 для АЭС с ВВЭР-440	К-500-65/3000 [4] для АЭС с РБМК - 1000	К-750-65/3000 для АЭС с РБМК-1500
Мощность, МВт	220	500	750
Частота вращения, об/мин	3000	3000	3000
Начальное давление, МПа	4,4	6,59	6,5
Количество ЦНД	2	4	4

Для турбинных установок, характерно последовательное увеличение единичных мощностей и повышение начального давления. Целесообразным

считается применение для турбин насыщенного пара давлений 6,0-6,5 МПа [3]. Дальнейшее увеличение давления [2] для АЭС с водным теплоносителем неоправданно в связи с усложнением самой турбинной установки.

### **Источники**

1. Королев А.С. Сравнительный анализ турбоустановок АЭС различной мощности, <https://core.ac.uk/reader/53080150>.
2. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции, Учебник для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. Высшая школа, Москва, 1978, С. 360.
3. Трухний А.Д., Булкин А.Е. Паротурбинная установка энергоблоков Балаковской АЭС, МЭИ, Москва, 2004, С.278.
4. Слободчук В.И., Шелегов А.С., Лескин С.Т. Основные системы энергоблоков АЭС, Учебное пособие по курсу АЭС, Обнинск, 2010, С. 215.
5. Цыганкова С.Д., Кравченко В.В. Сравнительный анализ турбогенераторов с турбинами К-1200-6,8/50 и «ARABELLE» для АЭС-2006 с реактором типа ВВЭР-1200, Белорусский национальный технический университет статья, Минск, С.7.

УДК 621.039

## **ВНЕДРЕНИЕ АЭС СО СВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПАРА**

Айрат Эдуардович Залаев

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

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

Ajrat.zalaev@bk.ru

**Аннотация.** Реакторы типа ВВЭР являются одними их наиболее распространённых мире, что обусловлено их безопасностью по сравнению с ядерными установками других типов. Но данного типа реакторов есть одна проблема, низкий КПД. Для решения этой проблемы рассматривается возможность внедрения ВВЭР-СКД (водо-водяной энергетический реактор со сверхкритическим давлением).

**Ключевые слова:** ВВЭР, КПД, коэффициент воспроизводства, спектр нейтронов.

# INTRODUCTION OF NUCLEAR POWER PLANTS WITH SUPERCRITICAL STEAM PARAMETERS

Airat E. Zalaev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Ajrat.zalaev@bk.ru

**Abstract.** WWPR type reactors are among the most common in the world, which is due to their safety compared to other types of nuclear installations. But this type of reactor has one problem, low efficiency. To solve this problem, the possibility of introducing SCWR (Supercritical Water Reactor) is being considered.

**Keywords:** WWPR, efficiency, reproduction coefficient, neutron spectrum.

С каждым годом потребление энергии растет, при этом необходимо уменьшать углеродный след. Из-за чего атомные станции на реакторах типа ВВЭР становятся все более важным звеном мировой энергетики [1]. Но у данного типа реакторной установки есть и свои минусы, один из которых не высокий КПД в 33-36%, по сравнению в 45% у современных котлотурбинных установок.

Для достижения такой эффективности необходим переход на теплоноситель со сверхкритическими параметрами пара. Повышение температуры активной зоны будет увеличено за счет перехода с теплового на быстро-резонансный спектр. Что также позволит использовать МОХ топливо, так как повысится коэффициент воспроизводства, предполагаемые значения от 0,8 до 0,9 [2].

Но переход на более высокие параметры пара вызывает несколько проблем. Во-первых, для повышения КПД необходимо внедрить одноконтурную схему станции, имеющая как плюсы (отсутствие дорогостоящего пароперегревателя, уменьшение времени строительства), так и минусы (необходимость дополнительной радиационной защиты). Во-вторых, необходимо увеличить теплосъем в активной зоне реактора. Для решения этой проблемы предложено 2 основные схемы циркуляции в реакторе: однозаходная или двухзаходная.

В однозаходной схеме теплоноситель поступает в реактор через входные патрубки, далее вода идет между шахтой и корпусом реактора и поступает в активную зону. После активной зоны, полученный пар через выходные патрубки поступает на турбину. Данная схема более простая в конструкции и обеспечении требуемой безопасности, к недостаткам –



неравномерность энерговыделения по высоте и непостоянный отрицательный коэффициент реактивности [3].

В двухзаходной схеме активная зона реактора разделена на две части; периферийную, к которой относятся верхние и нижние отверстия в шахте, и центральную. Вода, через верхнюю часть шахты, проходит через ТВС и попадает в центральную часть активной зоны. Происходит смешение теплоносителя из верхней и нижней части шахты подача на вход в центральную зону, где происходит подъемное движение. Затем полученный пар через выходные патрубки поступает на турбину. К достоинствам данной схемы относится обеспечение отрицательного коэффициента реактивности, улучшение условий охлаждения твэлов из-за увеличения скорости потока. К недостаткам – отсутствие естественной циркуляции.

Технология АЭС со сверхкритическими параметрами сейчас изучается многими странами, в том числе и в России [4, 5]. Эта технология представляет собой эволюцию реакторов ВВЭР. На данный наибольшей проблемой для внедрения данной технологии является эффективная система теплосъема в активной зоне при данном спектре нейтронов.

### **Источники**

1. Васильченко И.Н., Кобелев С.Н., Махин В.М., Семиглазов С.В. О перспективных направлениях совершенствования ВВЭР в части топливоиспользования. Годовой отчет, «Об основных научно-технических работах ОКБ «ГИДРОПРЕСС» за 2007 год», Научно-технический и рекламный сборник №8, Подольск, 2008, стр. 31.

2. Баранаев Ю.Д., Глебов А.П., Клушин А.В. Активная зона с быстро-резонансным спектром нейтронов со сверхкритическим давлением воды. Патент РФ, № 2485612, 2013.

3. В.М.Махин, В.А.Мохов, И.Н.Васильченко, М.П.Никитенко, С.Н.Кобелев, А.В.Лапин, А.Е.Четвериков, А.Н.Чуркин, С.В.Шмелев «Проблемные вопросы по активной зоне корпусного реактора ВВЭР-СКД» // Международный семинар «Вода и пар сверхкритических параметров в атомной энергетике, проблемы и решения», 22-23 октября 2008, НИКИЭТ.

4. История атомной энергетике Советского Союза и России, вып.1, М: ИздАТ, 2001, стр.73.

5. Ивамура Т. и др. Водяные реакторы с уменьшенным замедлением – будущее легководных реакторов?, Атомная техника за рубежом, 2001, №12, стр. 25-29.

## СРАВНЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРОВ ВВЭР И БН

Владислав Павлович Земляных

Науч. рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
vladislav.zemlianykh@gmail.com

**Аннотация.** В этой статье рассматривается безопасность ядерных реакторов ВВЭР и БН. Описывается глубокоэшелированная защита реактора ВВЭР и основные принципы безопасности реактора БН, представлен результат сравнения этих реакторов и определен лучший из них.

**Ключевые слова:** ядерный реактор, безопасность, глубокоэшелированная защита, физический барьер, продукты деления, реакторная установка, санитарно-защитная зона.

## COMPARISON OF SAFETY OF VVER AND BN REACTORS

Vladislav P. Zemlyanykh

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
vladislav.zemlianykh@gmail.com

**Abstract.** This article discusses the safety of the VVER and BN nuclear reactors. The deep-layered protection of the VVER reactor and the basic safety principles of the BN reactor are described, the result of comparing these reactors is presented and the best of them is determined.

**Keywords:** nuclear reactor, safety, deep-layered protection, physical barrier, fission products, reactor plant, sanitary protection zone.

В современном мире ядерная энергетика играет значительную роль в обеспечении электричества и устойчивого развития многих стран. Ядерные реакторы являются ключевыми элементами этой отрасли, однако их эксплуатация несет в себе определенные риски и угрозы для безопасности. Система защиты реакторов является актуальной проблемой, требующей постоянного внимания и совершенствования мер предосторожности.

Рассмотрим безопасность ВВЭР. В основу безопасности реактора закладывается концепция глубокоэшелированной защиты (ГЭЗ), которая

состоит из 4 физических барьеров (см. в таблице 1). Помимо физических барьеров существует активные и пассивные системы безопасности [1, 2, 5].

Таблица 1.

Физические барьеры ГЭЗ

№	Элемент	Особенности	Предназначение
1	Таблетки с урановым топливом	Выдерживают высокие температуры	Предотвращают выход продуктов деления под оболочку тепловыделяющего элемента (ТВЭЛ)
2	Оболочки ТВЭЛОВ	Обладают коррозионной стойкостью и способны выдержать температуру более 1000°С	Предотвращают выход продуктов деления
3	Стальной корпус реактора	Толщина 20 см, способен выдержать 160 атм.	Предназначен для предотвращения выхода продуктов деления за пределы защитной оболочки
4	Контейнмент - оболочка реакторного зала	Толщина внешней части контейнмента 80 см высокопрочного бетона, внутренней - 120 см, которая покрыта изнутри сплошным 8-ми мм стальным листом	Предотвращает выход продуктов деления в окружающую среду

Реакторная установка (РУ) БН представляет собой корпусную РУ, в которой все основное оборудование 1-го контура находится в корпусе реактора, размещенном в страховочном баке. Основной элемент обеспечения безопасности реакторов БН – это система аварийной защиты, эффективность которой достигается за счет надежных механизмов контроля аварийных сигналов, дублирования защитных средств, использования различных принципов формирования аварийного сигнала и автономных приводов защитных стержней [4].

В реакторах БН теплоносителем является натрий, который обладает хорошими теплофизическими свойствами: высокой теплопроводностью и теплоотдачей, в отличие от воды на реакторах ВВЭР. Основным критерием безопасности, по сравнению с РУ ВВЭР, является отсутствие его

отравления ксеноном и самарием. Важным достоинством РУ БН является минимальная санитарно-защитная зона (ССЗ) и зона наблюдения (ЗН). Например, для РУ РБМК-1000 ССЗ - 3 км., для ВВЭР-1000 ССЗ - 1,5 км., для БН-800 ССЗ - периметр станции, для БН-1200 ССЗ - территория реакторного отделения [1, 2, 3, 4].

В итоге рассмотрения данного вопроса можно сказать, что реакторы на быстрых нейтронах типа БН безопаснее реакторов ВВЭР. В частности, наличие аварийной защиты, особенностей РУ, минимальной ССЗ и ЗН, натриевого теплоносителя и невозможности отравления реактора. Все эти факторы делают реактор БН безопаснее реактора ВВЭР.

### Источники

1. Чернышева, О.Б. Основы обеспечения безопасности атомных электростанций: учебное пособие/О.Б.Чернышева. — Санкт-Петербург: ГУАП, 2022. — 72с. — ISBN 9785-8088-1699-2. — Текст: электронный//URL: <https://e.lanbook.com/book/263942> (дата обращения: 04.11.2023)

2. Акатов, А.А. Обеспечение радиационной безопасности персонала и населения, охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС: учебное пособие/А.А.Акатов, Ю.С.Коряковский. — Санкт-Петербург: СПбГТИ (ТУ), 2020. — 60 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/193035> (дата обращения: 04.11.2023)

3. Солонин, В.И. Ядерные реакторные установки: учебное пособие/В.И. Солонин. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 87 с. — Текст: электронный//Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/222971> (дата обращения: 04.11.2023)

4. Матвеев, В.И. Техническая физика быстрых реакторов с натриевым теплоносителем: учебное пособие/Матвеев В.И. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01202-4. - Текст: электронный//ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012024.html> (дата обращения: 04.11.2023)

5. 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> (дата обращения: 04.11.2023)

## ГРАФЕНОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ

Эльвина Дильшатовна Ибрагимова

Науч. рук. доц., канд. хим. наук Диляра Фаритовна Гайнутдинова

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан

elvina.ibragimovaa.02@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье представлены истории разработки и принцип работы графеновых аккумуляторов, а также преимущества их использования и будущие перспективы.

**Ключевые слова:** углерод, энергия, эффективность, аккумулятор, графен, литий ионы, электрод, энергоёмкость.

## GRAPHENE BATTERIES

Elvina D. Ibragimova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

elvina.ibragimovaa.02@mail.ru

**Abstract.** The article presents the history of the development and the principle of operation of graphene batteries, as well as the benefits of using and future prospects.

**Keywords:** carbon, energy, efficiency, battery, graphene, lithium ions, electrode, energy intensity.

Идея применения графена в аккумуляторах возникла давно, но ее практическое воплощение находилось в долгом ожидании. Вопрос о том, как создать графеновый аккумулятор и какие преимущества он может принести, долгое время оставался нерешенным.

После открытия графена, множество ученых и инженеров из различных стран мира приступило к исследованиям графеновых аккумуляторов. Вскоре они начали разрабатывать новые методы получения и синтеза графена, а также раскрывать его потенциал и возможности применения.

Исследования начались в начале 2000-х годов. Одноатомный слой углерода был впервые получен в 2004 году физиками Андреем Геймом и Константином Новоселовым. Получившийся материал имел высокую

энергоёмкость и мог стать основой для создания более эффективных аккумуляторов [1].

Исследователи из Калифорнийского технологического института использовали графеновые электроды и обнаружили, что они имеют высокую удельную ёмкость и способны быстро заряжаться и разряжаться.

С тех пор интерес к графеновым аккумуляторам только усилился. Компании во всем мире начали вкладывать средства в исследования и разработку этой новой технологии. На сегодняшний день существует множество проектов в поисках наиболее эффективных и устойчивых аккумуляторов.

Графеновые аккумуляторы, основанные на использовании одноатомного слоя углерода, работают путём сборки электрохимических элементов с графеновыми покрытиями на электродах. Аккумулятор содержит два электрода-анод и катод, разделенные электролитом. Зарядка аккумулятора приводит к превращению графена на поверхности электродов в литиевый графенид, что приводит к поглощению литий ионов и накоплению энергии. При разряде аккумулятора литий ионы переходят из литиевого графенида в графен, и освобожденная энергия используется для работы. Аккумулятор можно зарядить снова, начав цикл заново [2].

Графеновые аккумуляторы имеют следующие преимущества:

1. Высокая скорость зарядки и разрядки. Это связано с высокой проводимостью графена, позволяющая электрическому заряду перемещаться быстрее;

2. Большая ёмкость. Аккумулятор может хранить больше электрической энергии, так как имеет большую поверхностную площадь;

3. Повышенная долговечность. Графен является очень прочным и стабильным материалом, способным выдерживать большое количество циклов зарядки без существенной потери ёмкости;

4. Легкость и гибкость. Графеновые аккумуляторы могут быть изготовлены из тонких и гибких материалов, что позволяет им подстраиваться под разные формы и размеры;

5. Высокая рабочая температура. Графен позволяет использовать аккумуляторы при повышенной тепловой нагрузке [3].

Графеновые аккумуляторы представляют потенциал для улучшения энергетической эффективности и производительности аккумуляторов в различных областях, таких как электромобили, портативные устройства и хранение энергии от возобновляемых источников [4].

Увеличение плотности энергии поможет увеличить дальность езды электромобилей и продолжительность работы портативных устройств. Быстрая скорость зарядки снизит время ожидания и повысит удобство использования.

Однако разработка графеновых аккумуляторов все еще находится на стадии исследований. Существуют вызовы, связанные с производством графена в больших масштабах и его интеграции в аккумуляторные системы. Требуются также решения по вопросам безопасности и стоимости производства. Хотя перспективы использования графеновых аккумуляторов обещают быть захватывающими, до их широкого коммерческого применения требуется еще много работы. Прогресс в исследованиях и разработках будет играть важную роль в определении будущего применения этой технологии [5].

### **Источники**

1. Кто изобрёл графеновый аккумулятор. [Электронный ресурс] – URL: <https://enikeeva.ru/kto-izobrel-grafenovy-i-akkumulyator> (дата обращения 04.11.2023)
2. Графеновый аккумулятор: определение и преимущества. [Электронный ресурс] – URL: <https://znatokprav.ru/grafenovy-i-akkumulyator-opredelenie-i-preimushhestva/?ysclid=lopykxjdc420050037> (дата обращения 07.11.2023)
3. Графеновый аккумулятор: особенности и преимущества. [Электронный ресурс] – URL: <https://uralchip.ru/faq/grafenovy-i-akkumulyator-osobennosti-i-preimushhestva> (дата обращения 02.11.2023)
4. Графеновый аккумулятор. Прорыв в создании устройств хранения энергии. [Электронный ресурс] – URL: <https://naukatehnika.com/grafenovyj-akkumulyator-perevorot-v-mire-texnologij.html?ysclid=lopygxwidx179157759> (дата обращения 06.11.23)
5. Когда на смену литий-ионным придут графеновые аккумуляторы. [Электронный ресурс] – URL: <https://tech.sevastopol.su/2022/04/04/kogda-na-smenu-litij-ionnym-pridut-grafenovye-akkumuljatory/> (дата обращения 07.11.2023)

## ТЕХНОЛОГИЯ УГЛЕВАНИЯ КАК СПОСОБ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Рузина Фарсилловна Камалиева<sup>1</sup>, Алена Юрьевна Власова<sup>2</sup>  
Науч. рук. д.т.н., доц. Антонина Андреевна Филимонова  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>rruzzi@yandex.ru, <sup>2</sup>vlasovaay@mail.ru

**Аннотация.** В работе рассматривается процесс углевания и способ очистки воды с помощью данной технологии для обеспечения населения питьевой водой, а также влияния дозировки на показатели качества воды.

**Ключевые слова:** очистка воды, углевание, показатели качества воды, питьевая вода.

## CARBONATION TECHNOLOGY AS A WAY TO PURIFY DRINKING WATER IN THE HEAT POWER INDUSTRY

Ruzina F. Kamaliev<sup>1</sup>, Alena Y. Vlasova<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>rruzzi@yandex.ru, <sup>2</sup>vlasovaay@mail.ru

**Annotation.** The paper considers the process of water purification and the method of water purification using this technology to provide the population with drinking water, as well as the effect of dosage on water quality indicators.

**Keywords:** water purification, carbohydrates, water quality indicators, drinking water.

Обеспечение населения питьевой водой является важной задачей для многих регионов России. Основными источниками питьевого водоснабжения являются реки и подземные воды. Однако, предприятия и организации по водообеспечению сталкиваются с проблемой загрязнения водных ресурсов промышленными отходами, химическими и органическими веществами и пестицидами, что создает необходимость в проведении процессов очистки и обработки воды перед ее использованием [1].

Одним из способов обработки воды традиционно является использование угольных фильтров. Процесс обычно проводится в специальных фильтрах, содержащих слой гранулированного древесного



активированного угля марки БАУ. Вода под давлением пропускается через данный слой, где загрязнения задерживаются на поверхности угля или поглощаются его порами. Однако данный процесс является достаточно дорогостоящим и характеризуется сложной конструкцией и большими капитальными затратами, поэтому предлагается использовать технологию углевания – дозирование порошкообразного угля в очищаемую воду. Использование данной технологии по сравнению с пропуском воды через угольные фильтры имеет ряд преимуществ: относительно низкие экономические затраты, простота использования, экономия пространства и высокая скорость наступления эффекта. На рисунке представлена схема аппарата для углевания воды.

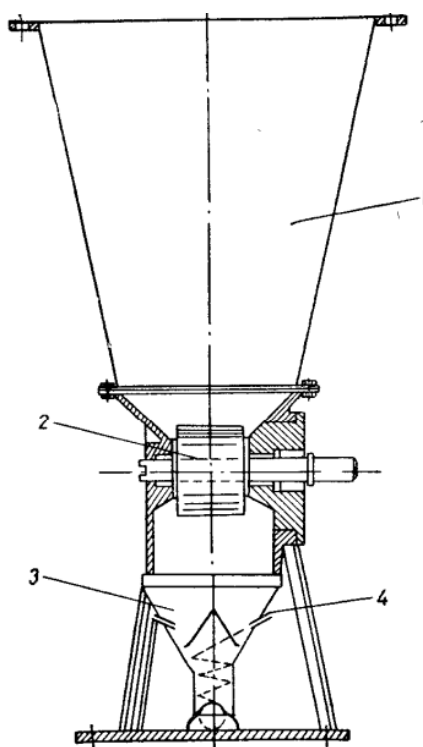


Схема дозирующего и смесительного аппарата для углевания воды.

1 – бункер аппарата, 2 – зубчатое колесо, 3 – смеситель, 4 – струенаправляющие сопла

Технология углевания заключается в очищении воды при использовании древесного порошкообразного угля. Угли марки ОУ-А и СПДК-27Д обладают высокой пористостью и большой величиной удельной поглощающей поверхности, что позволяет эффективно удалять различные загрязнения [2]. Процесс углевания снижает показатели мутности, цветности, общего органического углерода и перманганатной окисляемости очищаемой воды, что позволяет значительно повысить качество питьевой воды и сделать ее безопасной для употребления.

На основе экспериментальных данных, было выявлено, что при дозировке 3 мг/л снижается цветность, а при 10 мг/л – цветность, общий органический углерод и перманганатная окисляемость. В процессе углевания также снижается содержание активного хлора, а следовательно, требуется проведение процесса хлорирования воды. После прекращения дозирования углевание протекает еще в течении 4 часов.

Стоит отметить, что углевание – это лишь один из этапов очистки питьевой воды. Для достижения максимального качества воды может потребоваться проведение и других процессов, таких как фильтрация, хлорирование или обратный осмос [3]. Комплексное применение данных методов позволяет достичь оптимального уровня очистки и обеспечить высокое качество питьевой воды.

Таким образом, углевание питьевой воды является важным этапом очистки и обработки воды. Этот процесс позволяет удалить различные загрязнения, которые могут находиться в воде, и повысить ее качество. Благодаря углеванию предприятия и организации водообеспечения могут обеспечивать население безопасной и чистой питьевой водой, что является одной из основных задач в современном мире.

#### **Источники:**

1. Чичирова Н.Д., Евгеньев И.В. Технология озонирования воды и фильтрующих материалов в теплоэнергетике // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 1999. № 2. С. 27-31.

2. АО «Сорбент». [Электронный ресурс]. <http://www.sorbent.su/>. Дата обращения: 26.10. 2023.

3. Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М. и др. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении // – М.: Химия, 1983. – 288 С.

УДК 621.039.9

## **РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Ренат Ирекович Краус

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

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

krausrenat@mail.ru

**Аннотация.** На сегодняшний день все отрасли промышленности находятся в постоянной зависимости с постоянно возрастающими масштабами производства и использования электроэнергии. Поэтому в развитии экономики нашей страны большую роль играет именно энергетика. Республика Татарстан является активно развивающейся республикой в России, в связи с чем в статье рассматривается развитие ядерной инфраструктуры именно на примере Татарстана.

**Ключевые слова:** ядерная инфраструктура, ядерная энергия, ядерные технологии, энергетический спрос, экономика.

## **DEVELOPMENT OF THE NUCLEAR INFRASTRUCTURE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN**

Renat I. Kraus

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

krausrenat@mail.ru

**Abstract.** Today, all industries are in constant dependence on the ever-increasing scale of production and utilization of electric power. Therefore, it is the energy sector that plays a major role in the development of our country's economy. The Republic of Tatarstan is an actively developing republic in Russia, therefore the article considers the development of nuclear infrastructure on the example of Tatarstan.

**Keywords:** nuclear infrastructure, nuclear energy, nuclear technology, energy demand, economy.

Ядерная инфраструктура является ключевым элементом в современном мире, неотъемлемой составляющей развития и безопасности различных государств. Она включает в себя все необходимые элементы для производства и использования ядерной энергии, а также позволяет развивать ядерные технологии в других сферах, включая медицину и научные исследования.

Одной из основных причин развития ядерной инфраструктуры является растущий энергетический спрос. Традиционные источники энергии, такие как уголь и нефть, имеют ограниченные запасы и влияют на окружающую среду. Ядерная энергия, напротив, является экологически чистым источником энергии, который, в частности, не выбрасывает в атмосферу парниковые газы. Развитие ядерной инфраструктуры позволяет удовлетворять растущий спрос на энергию и одновременно уменьшать негативное воздействие на окружающую среду [1].

Кроме того, ядерная инфраструктура имеет огромный потенциал для различных научных исследований и медицинских приложений. Использование искусственных радионуклидов в медицинских целях позволяет обнаруживать и лечить различные заболевания, такие как рак на ранней стадии. Развитие ядерных технологий также способно улучшить продуктивность сельского хозяйства и обеспечить продолжительное хранение продуктов питания, что является актуальной задачей при стремительном росте мирового населения [2].

Однако, развитие ядерной инфраструктуры несет в себе и некоторые риски, связанные с возможными авариями на атомных станциях и распространением ядерного оружия. Поэтому крайне важно развивать соответствующие международные стандарты, внедрять передовые технологии безопасности и строго контролировать использование ядерной энергии. Тем не менее, ядерная инфраструктура является неотъемлемым фактором развития современного общества. Ее развитие позволяет обеспечить энергией, медицинскими прорывами и научными исследованиями, снизить негативное влияние на окружающую среду и решать другие важные глобальные проблемы. Поэтому ее развитие и постоянное совершенствование должны быть приоритетом для всех государств, стремящихся к устойчивому и прогрессивному развитию [3].

Республика Татарстан в последние годы активно занимается развитием ядерной инфраструктуры, что стало одной из задач региональной политики. Разработки программ и стратегий, таких как развитие проекта постройки атомной энерготехнологической станции (АЭС), строительство госкорпорацией «Росатом» центра обработки данных в городе Иннополис, позволят республике создать современную и надежную ядерную инфраструктуру, способную обеспечить энергетическую безопасность региона и осуществлять передовые исследования в области ядерной энергетики и медицины [4].

Строительство АЭС способствует созданию новых рабочих мест, развитию технологий и привлечению инвестиций. При этом особое внимание уделяется окружающей среде и безопасности, с целью минимизации возможных рисков. Кроме того, в регионе активно развиваются ядерные медицинские технологии. Больницы и клиники в Республике Татарстан оснащены современным ядерным медицинским оборудованием, что позволяет значительно улучшить эффективность лечения. Это способствует повышению качества медицинской помощи и

улучшению здоровья населения региона. В республике поддерживаются научные исследования в области ядерной энергетики с целью совершенствования существующих технологий и разработки новых [5]. Это позволяет привлекать высококвалифицированных специалистов и развивать научный потенциал региона.

Таким образом, развитие ядерной инфраструктуры Республики Татарстан является важным компонентом регионального развития. Это создает новые возможности для экономики, медицины и науки и способствует повышению качества жизни населения региона. Правительство Республики Татарстан продолжает активно поддерживать и развивать проекты в области ядерной энергетики, уделяя особое внимание безопасности и экологической ответственности.

### **Источники**

1. Ядерная энергетика как двигатель более глубокой декарбонизации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru/bulletin/yadernaya-energetika-kak-dvigatel-bolee-glubokoy-dekarbonizacii> (дата обращения 02.11.2023).

2. Облучение пищевых продуктов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iaea.org/ru/temy/obluchenie-pishchevyh-produktov> (дата обращения 02.11.2023).

3. Выступление Раиса Республики Татарстан. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minfin.tatarstan.ru/index.htm/news/227996.htm> (дата обращения 02.11.2023).

4. «Росатом» запускает мегаЦОД в Татарстане. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.cnews.ru/news/top/2022-12-09\\_rosatom\\_reshil\\_ne\\_zatyagivat](https://www.cnews.ru/news/top/2022-12-09_rosatom_reshil_ne_zatyagivat) (дата обращения 02.11.2023).

5. В КГЭУ открылся центр атомной энергетики в рамках «Приоритет 2030». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kgeu.ru/News/Item/159/11577> (дата обращения 02.11.2023).

## **ПРОБЛЕМА ВЫСОКОЙ АКТИВИРУЕМОСТИ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ КАК ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА КОРПУСА ЯДЕРНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ЕЕ УСТРАНЕНИЯ**

Василий Андреевич Лавриков

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

vasiliylavricov@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема высокой активируемости аустенитной стали 15X2EOMФА-А, 15X2B2ФА-А, представлены основные требования, предъявляемые материалам корпуса ядерного энергетического реактора. Также определены возможные пути решения представленной проблемы.

**Ключевые слова:** аустенитная сталь, поле нейтронного излучения, корпус ядерного реактора, активируемость.

## **THE PROBLEM OF HIGH ACTIVABILITY OF AUSTENITIC STEEL AS THE MAIN BODY MATERIAL OF A NUCLEAR POWER REACTOR AND POSSIBLE WAYS TO ELIMINATE IT**

Vasily A. Lavrikov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

vasiliylavricov@mail.ru

**Abstract.** The article considers the problem of high activability of austenitic steel 15X2EOMFA-A, 15X2V2FA-A, presents the basic requirements for materials of the nuclear power reactor vessel. Possible ways of solving the presented problem are also identified.

**Keywords:** austenitic steel, neutron radiation field, nuclear reactor vessel, activability.

Корпус ядерного энергетического реактора – одна из важнейших составляющих элементов конструкции ядерного реактора типа ВВЭР. Одна из главных задач корпуса реактора – это обеспечение надежной эксплуатации всей реакторной установки и атомной электростанции в целом а также поддержание радиационной безопасности АЭС и ее рабочего персонала, за счет сохранения своей герметичности на протяжении всего срока службы.

В процессе эксплуатации корпус ВВЭР, постоянно находится в поле нейтронного излучения активной зоны, что приводит к деградации физико-механических свойств металла, из которого изготовлен корпус. На самом деле осуществление полноценной диагностики корпуса реактора, в особенности с внутренней стороны, возможно лишь при остановке реактора, и потому требования, предъявляемые к материалу реактора и его конструкции, достаточно высоки. Отечественная отрасль реакторостроения в качестве материала корпуса ядерного реактора использует стали марок 15Х2ЕОМФА-А, 15Х2В2ФА-А (см. Технические условия ТУ 108.765-78 «Заготовки из стали марок 15Х2НМФА и 15Х2ЕQVIOA-А для корпусов и крышек и других узлов реакторных установок, лист 6, табл. 2, зарегистрированы в Госстандарте 01.08.1978 г. под №1855521), поскольку они хорошо свариваются, достаточно устойчивы к воздействию больших доз радиации и обладают хорошей устойчивостью к коррозии (при должном подборе подходящего водного режима).

Главным недостатком данных марок сталей является высокая активизируемость в поле нейтронного излучения, из-за чего осуществление диагностических и ремонтных работ становится достаточно трудозатратным. Также в связи с накоплением в корпусе большого количества наведенной реактивности создаются дополнительные проблемы по захоронению и утилизации данного оборудования.

Решением вышеупомянутой проблемы может стать использование в качестве материала корпуса ядерного реактора сплавов титана композиции Ti-Al-V-Mo-Zr. Технология производства данного сплава была разработана российским научно-производственным комплексом «Титановые сплавы». данный сплав способен обеспечить такой же уровень радиационной защиты и термической стабильности, как и стали марок 15Х2ЕОМФА-А, 15Х2В2ФА-А, при этом время спада наведенной активности до минимальных значений в несколько раз меньше.

Применение данного титанового сплава позволит поднять такие эксплуатационные характеристики корпуса ядерного реактора, как коррозионная стойкость. При этом время спада наведенной активности корпуса снизится со 100-150 лет (показатели аустенитной стали корпуса ВВЭР) до 40 лет, то есть снизится примерно в 2,5-4 раза, что даст возможность снизить затраты на хранение отработавшего оборудование. Также подобное решение уменьшит материалоемкость конструкции.

Таким образом, можно отметить, что использование титановых сплавов в качестве материала корпуса ядерного реактора может

значительно улучшить его эксплуатационные характеристики и снизить затраты на его хранение и утилизацию. Однако, необходимо провести дополнительные исследования и испытания данного сплава для подтверждения его эффективности и безопасности в условиях ядерной энергетики.

### **Источники**

1. Солнце в машине: как ученые сделали еще один шаг к созданию термоядерной энергетики и почему это может изменить мир [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.forbes.ru/obshchestvo/429889-solnce-v-mashine-kak-uchenye-sdelali-eshche-odin-shag-k-upravlyayemoj> (дата обращения 05.03.2023).

2. Титан и титановые сплавы для различных отраслей промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.lkmportal.com/articles/titan-i-titanovye-splavy-dlya-razlichnyh-otrasley-promyshlennosti> (Дата обращения 28.10.2023).

3. Получение сплавов на основе высокочистого титана. Исследование их состава и свойств [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/1633/article/28070/> (Дата обращения 30.10.2023).

4. Термически стабильный низкоактивируемый свариваемый титановый сплав для корпусных конструкций ЯЭУ с водяным теплоносителем перспективных стационарных и транспортных АЭС малой и средней мощности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.crism-prometey.ru/science/titanium/titanium-alloys-VVER.aspx> (Дата обращения 30.10.2023).

5. Научно-производственный комплекс «Титановые сплавы», каталог продукции и услуг [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.crism-prometey.ru/about/activities/titanovyye-splavy.pdf> (Дата обращения 31.10.2023).

6. Реакторная сталь: условия работы конструкционных материалов и требования к ним [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://steelcast.ru/reactor\\_steel00](http://steelcast.ru/reactor_steel00) (Дата обращения 31.10.2023).



## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Аделина Максимовна Литвинюк

Науч. рук. д-р техн. наук., доцент, А.А. Филимонова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
Lit\_adel@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос использования водорода как альтернативного вида топлива, анализируется состояние и тенденции развития водородной экономики России, а также выявлен ряд особенностей, позволяющих оценить перспективы ее роста.

**Ключевые слова:** водородная энергетика, экономика, топливные элементы.

## ASSESSMENT OF THE STATE OF HYDROGEN ENERGY IN RUSSIA

Adelina M. Litvinyuk

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
Lit\_adel@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the use of hydrogen as an alternative fuel, analyzes the state and trends in the development of the hydrogen economy of Russia, and also identifies a number of features that allow assessing the prospects for its growth.

**Keywords:** hydrogen energy, economics, fuel cells.

Приоритетом в достижения устойчивого развития является энергетика, базирующаяся на переходе к безуглеродным источникам энергии. Так как одной из причин значительных выбросов парниковых газов представляется эксплуатация существующих энергетических установок.

По данным, предоставленным центрами развития энергетики мира и России до 2040 г., в сегодняшний момент мировое сообщество стоит на пороге четвертого энергетического перехода к возобновляемым источникам энергии [2].

Согласно прогнозам, до 2040 года центры ожидают, что быстрое развитие возобновляемых источников энергии позволит им обеспечивать значительную долю мирового производства электроэнергии и энергопотребления. В то же время, энергетическое использование

ископаемых топлив будет сокращаться. В частности, доля газа в мировом энергобалансе повысится с 22% до 25%, тогда как доля угля снизится с 28% до 22%.

Из вышесказанного становится понятен возрастающий интерес к технологиям водородной энергетики с низким «углеродным следом».

Водород рассматривается как перспективный энергоноситель, способный заменить природные энергоносители. Он экологически чист, обладает высокой теплотой сгорания (120 МДж/кг), транспортабелен и может использоваться для аккумулирования излишков электроэнергии.

Основным эксплуатационным недостатком использования водорода является проблема хранения чистого водорода: при криогенном – низкая температура кипения; при газобаллонном способе хранения – взрывоопасность и при металлогидридном – невысокое содержание водорода по массе.

Россия с середины XX в. занимает лидирующие позиции в научных исследованиях и разработках в сфере водородной энергетики. В нашей стране был создан один из первых экспериментальных автомобилей с топливными элементами, построен космический криогенный водородный комплекс, проведены эксперименты с промышленными плазмохимическими установками получения водорода, разработаны разнообразные металлогидридные устройства и мн. др. [1].

На сегодняшний день водородная энергетика включает такие основные технологии как: крупномасштабное производство водорода; хранение и транспортировку водорода; использование водорода для получения энергии в различных сферах и производство топливных элементов и энергоустановок на их основе.

В 2020 году распоряжением Правительством РФ был утвержден План «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года» [4], который предусматривает реализацию ряда мероприятий по поддержке научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по приоритетным направлениям развития водородной энергетики.

Особенностью развития водородной энергетики в XXI в. в России является использование ядерной энергии для производства водорода, а также внедрение водородных технологий в железнодорожный транспорт. Это свидетельствует о значимости данного вида транспорта в стране наряду с автомобильным.

В России 2021 год объявлен Годом науки и технологий в рамках которого проведены испытания партии энергоустановок на базе топливных элементов с воздушным охлаждением мощностью 5 кВт; запущено

производство химических генераторов водорода с выходом водорода не менее 7 % масс. и запущено производство энергоустановок с энергоемкостью до 700 Вт·ч/кг на основе ТЭ [5].

Один из наиболее перспективных направлений в научных исследованиях является разработка и коммерциализация топливных элементов и реакторов для производства водорода: щелочные (ЩТЭ) и твердополимерные (ТПТЭ), карбонатно-расплавные (КРТЭ) и фосфорнокислотные (ФКТЭ), и твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ). Наиболее перспективными из них считаются ТОТЭ, обеспечивающие широкий диапазон мощностей, высокий уровень температур и длительный временной ресурс по сравнению с другими типами ТЭ, а также не нуждаются в дорогом катализаторе (платине) [1].

В новой редакции Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года, предусматривается, что водород в будущем может стать заменой углеводородных энергоносителей и способствовать формированию «водородной экономики». Главной задачей водородной энергетики является развитие производства и потребления водорода, а также включение России в число ведущих лидеров по его производству и экспорту [3].

### **Источники**

1. Лебедева М.В., Яштулов Н.А. Топливные элементы – характеристика, физико-химические параметры, применение. Учебное пособие – М.: Мир науки, 2020. [Электронный ресурс] <https://izd-mn.com/PDF/23MNNPU20.pdf> (дата обращения: 31.10.23).

2. Макарова А.А., Митровой Т.А., Кулагина В.А. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 // ИНЭИ РАН–Московская школа управления СКОЛКОВО – Москва, 2019. С. 210 [Электронный ресурс] [https://mks-group.ru/storage/presentations/2019\\_SKOLKOVO\\_Forecast\\_of\\_energy\\_development\\_RUS.pdf](https://mks-group.ru/storage/presentations/2019_SKOLKOVO_Forecast_of_energy_development_RUS.pdf) (дата обращения: 31.10.23).

3. Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г.: Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р.

4. План мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024г.: Распоряжение Правительства РФ от 12.10.2020 № 2634-р.

5. Добровольский Ю.А. От водородной энергетики к водородной экономике // Научная Россия [Электронный ресурс] <https://scientificrussia.ru/articles/ot-vodorodnoj-energetiki-k-vodorodnoj-ekonomike> (дата обращения: 31.10.23).

## ФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД ОТСТАИВАНИЯ МАСЛА

Никита Владимирович Меньщиков

Науч.рук. кан. техн.наук, доцент Александр Игоревич Ляпин

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

nik-ninza2000@mail.ru

**Аннотация.** Обезвоживание турбинного масла в процессе эксплуатации является чрезвычайно важной проблемой. Неудовлетворительная работа уплотнений подшипников приводит к систематическому и часто очень обильному обводнению масла. В таких условиях работа подшипников и смазки должна быть признана абсолютно неудовлетворительной, так как неоправданно сокращается срок службы масла и заметно увеличивается износ узлов трения.

**Ключевые слова:** масло, обводнение, механические фильтры, чистка масла.

## PHYSICAL METHOD OF OIL SETTLING

Nikita V. Menschikov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

nik-ninza2000@mail.ru

**Abstract.** The issue of dewatering turbine oils in a running unit is extremely relevant. Unsatisfactory performance of bearing sealing leads to systematic and often very abundant oil watering. Under these conditions, the operation of bearings and lubricants must be recognized as completely unsatisfactory due to the fact that the service life of the oil is unacceptably reduced, and the wear of rubbing parts increases noticeably.

**Keywords:** oil, watering, mechanical filters, oil purification.

Одной из важнейших проблем современного общества является энергоэффективность. С повышением приоритета устойчивого развития и необходимости экономии ресурсов, энергетические технологии вышли на передний план.

В отличие от химических методов, физический метод не требует использования дополнительных ресурсов и химических реагентов. Он основан на использовании принципа естественного отстаивания, который оптимизирует процесс выделения масла из воды или других жидкостей на основе их физических свойств.

В масляном баке турбины устанавливаются фильтры, которые обеспечивают фильтрацию масла и поддерживают его чистоту. Засорение фильтров оказывает негативное влияние на давление в системе смазки, так как производительность насоса снижается. Как результат, подшипники получают меньше масла, что в свою очередь приводит к снижению эффективности теплоотдачи и увеличению нагрева подшипников [1].

Процесс очистки фильтров выполняется согласно расписанию, однако после установки, ремонта или простоя турбины он проводится с большей частотой, чем во время обычной эксплуатации турбоагрегата. Фильтры по очереди удаляются из масляного бака раз в неделю для подачи на них сжатого воздуха [2].

После продувки фильтров эксплуатационный персонал усиленно следит в течении некоторого времени за давлением масла и температурой баббита на подшипниках. Продувка и чистка фильтров осуществляется без останова турбины.

При применении данных методов очистки, химические характеристики масла остаются неизменными. Среди основных физических методов можно выделить процессы отстаивания, фильтрации и сепарации, которые позволяют избавиться масло от нерастворимых веществ, таких как вода и примеси.

Отстаивание является самым простым и экономически выгодным способом разделения масла от шлама, воды и механических примесей. Для этого используются специально разработанные конической формы отстойники. После определенного периода времени различные компоненты разделяются на разные уровни, основываясь на их плотности. Масло, обладающее более низкой плотностью, перемещается вверх, в то время как вода с механическими примесями оседает на дно и может быть удалена через специальный сливной отверстие в конической части отстойника.

Для отстаивания масла в непрерывных системах циркуляции, таких как системы смазки, применяются горизонтальные или вертикальные отстойники. В горизонтальном отстойнике масло движется с такой небольшой скоростью, при которой примеси не могут оставаться во взвешенном состоянии. Частицы их оседают на дно отстойника, а относительно очищенное масло движется дальше [3].

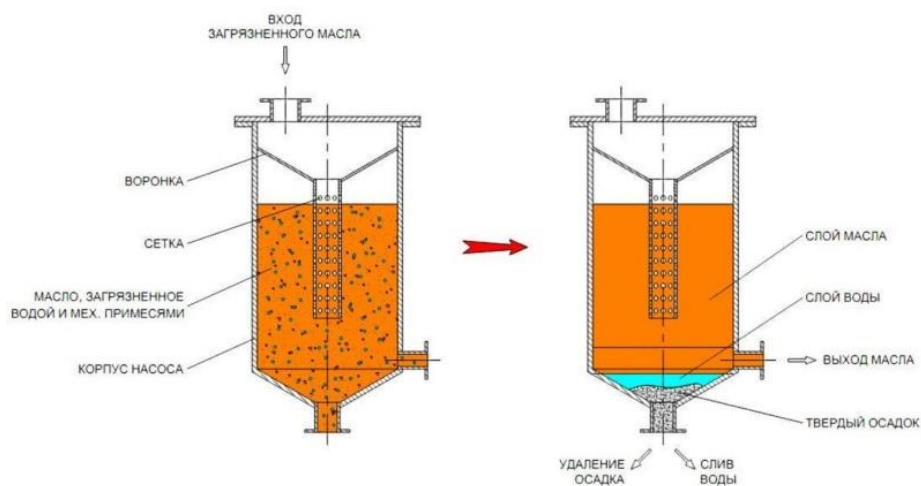


Схема поперечного разреза отстойника масла

Сам масляный бак может выступать в роли отстойника, это способствует наклонная поверхность дна маслобака. В баке турбинного масла непрерывно происходит перемешивание слоев благодаря постоянному движению масла. Воздух, находящийся в баке, компенсирует разницу в плотности между компонентами масловодяной эмульсии, что затрудняет ее разделение. Однако, бак-отстойник для масла обеспечивает более благоприятные условия, и время, необходимое для отстаивания, не имеет ограничений. Важно отметить, что основным недостатком метода отстаивания турбинного масла является низкая производительность из-за продолжительного этапа разделения. Кроме того, отстойник требует значительного пространства для его размещения и увеличивает степень пожароопасности.

В заключение, физический метод отстаивания масла представляет собой перспективное направление в области энергоэффективности. Дальнейшее развитие и внедрение этого метода потребуют коллективных усилий занимающихся в этой сфере и приведут к улучшению устойчивости и эффективности энергетического сектора.

### Источники

1. Турбинное масло: назначение и характеристики. [Электронный ресурс], - URL: [https://komteks.ru/o-produktsii/turbinnoe\\_maslo\\_naznachenie\\_i\\_kharakteristiki/](https://komteks.ru/o-produktsii/turbinnoe_maslo_naznachenie_i_kharakteristiki/) (дата обращения 13.11.2023).

2. Отстаивание масел. Справочник Химика. 2021. с.33-61 [Электронный ресурс], - URL: <https://www.chem21.info/info/122447/> (дата обращения 13.11.2023).

3. Установки для очистки турбинного масла. [Электронный ресурс], - URL: [https://oil-filters.ru/turbine\\_oil\\_filtration/#turbine\\_oils\\_cleaning](https://oil-filters.ru/turbine_oil_filtration/#turbine_oils_cleaning) (дата обращения 13.11.2023).

УДК 621.039.5

## МАЛЫЕ МОДУЛЬНЫЕ РЕАКТОРЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА СОВРЕМЕННЫМ РЕАКТОРНЫМ УСТАНОВКАМ

Анастасия Ильинична Осинцева

Науч. рук. ст.преп. Руслан Владимирович Бускин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань, Республика Татарстан  
[aiosintseva@gmail.com](mailto:aiosintseva@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются модульные реакторы малой мощности, их преимущества и недостатки по сравнению с современными энергетическими реакторными установками, а также их применимость в атомной энергетике.

**Ключевые слова:** малые модульные реакторы (ММР), ядерные энергетические установки (ЯЭУ), атомная энергетика, реакторные установки (РУ), атомные станции малой мощности (АСММ).

## SMALL MODULAR REACTORS AS AN ALTERNATIVE TO MODERN REACTOR INSTALLATIONS

Anastasia I. Osintseva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
[aiosintseva@gmail.com](mailto:aiosintseva@gmail.com)

**Abstract.** This article discusses modular low-power reactors, their advantages and disadvantages in comparison with modern power reactor installations, as well as their applicability in nuclear power.

**Keywords:** small modular reactors (SMR), nuclear power plants (NPP), nuclear power engineering, reactor plants (RP), low-power nuclear power plants (LNPP).

В наше время атомная энергетика является одним из основополагающих факторов развития общества. За более чем 70 лет существования ядерные реакторы заняли прочную позицию в мировом производстве электроэнергии. Необходимость принятия комплекса мер по сокращению выбросов парниковых газов энергетического сектора побуждает к развитию инновационной ядерной энергетики - ядерных реакторов, которые имеют радикальные отличия в конфигурации систем, в выборе теплоносителей и топлива, а также в условиях эксплуатации. Одним из перспективных направлений инновационной ядерной энергетики на данный момент является реализация концепции малых модульных реакторов.

Малые модульные реакторы (ММР) – реакторы, обладающие выходной электрической мощностью от 10 МВт(э) до 300МВт(э). Одна из основных особенностей ММР состоит в том, что данные реакторы могут быть серийно произведены на заводе, там же заправлены топливом и затем доставлены на место эксплуатации. В зависимости от того, сколько требуется электроэнергии, можно добавлять новые модули. Несмотря на то, что ММР включают в себя все типы данных реакторов, между основными типами существуют различия, такие как виды теплоносителей и топлива, уровни готовности к лицензированию и к технологии [1].

У малых модульных реакторов и атомных станций малой мощности (АСММ) можно выделить несколько преимуществ в сравнении с традиционными реакторами и АЭС:

1. Эффект серийности, за счёт которого повышается эффективность в экономическом плане;
2. Суммарная уменьшенная радиоактивность активной зоны реакторов;
3. Интегральная конструкция;
4. Обеспечение гибкости, то есть возможность выработки определённого необходимого количества чистой энергии в данный момент;
5. Возможность реакторов работать без перезагрузок топлива от нескольких лет до десятков лет;
6. Способность работы реакторов без подключения к крупной энергоинфраструктуре [3, 4].

Исходя из преимуществ концепции ММР, можно сказать, что малые модульные реакторы и такого рода атомные станции имеют высокую практическую применимость. Они являются интегрированными энергетическими системами, облегчают доступ к ядерной энергии в новых



районах и труднодоступных областях и могут послужить для декарбонизации, то есть замены станций теплоснабжения и угольных электростанций с блоками с мощностями менее 500МВт, которые выводятся из эксплуатации [1,2].

В настоящее время, технология АСММ и концепция ММР представляют собой одни из наиболее передовых технологий энергетики, и это подтверждают данные Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ): сейчас в процессе разработки и строительства находится более 70 концепций ММР. Действующими малыми модульными реакторами на данный момент являются российский мобильный реактор КЛТ-40С, установленный на единственной в мире плавучей АТЭС «Академик Ломоносов», а также китайский высокотемпературный реактор HTR-PM. На данный момент на продвинутых этапах строительства находятся ММР в таких странах, как Китай (реакторы АСР100 и TMSR-LF1) и Аргентина (реактор CAREM) [4].

Перспективы развития ММР в России довольно многообещающие, ведь учёные далеко продвинулись в разработках малых модульных реакторов, например проект РИТМ-200, находящийся на стадии концептуального проектирования, является результатом адаптации инновационной технологии для ледоколов под наземное размещение. Также, НИКИЭТ имени Н.А. Доллежала разрабатывает реакторную установку «Шельф М» – водо-водяной реактор с топливным циклом продолжительностью в 4 года, а также с мощностью 6,6 МВт(э), запуск установки планируется после 2030 года [5].

Обобщая всё вышесказанное, можно сделать вывод о том, что малые модульные реакторы имеют довольно много преимуществ по сравнению с современными энергетическими реакторными установками. Это позволяет говорить об успешной практической применимости, как в настоящем при имеющихся реакторах, так и в будущем, так как большинство малых модульных реакторных установок находятся в стадии разработки.

## **Источники**

1. Развитие и экономика ядерных технологий 2021. Малые модульные реакторы: проблемы и перспективы. Агентство по ядерной энергии. Организация экономического сотрудничества и развития. (дата обращения: 31.10.2023)

2. Полякова М. Большие перспективы малых реакторов: почему они так популярны. Страна РОСАТОМ, опубл. 02.05.2019. (дата обращения: 31.10.2023)

3. АСММ: новый тренд в атомной энергетике [Электронный ресурс]. <https://rosatomnewsletter.com/ru/2023/03/02/small-modular-reactor-new-nuclear-trend/?ysclid=loe8umo4j1506882527> (дата обращения: 31.10.2023).

4. МАЛЫЕ МОДУЛЬНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ / А. С. Дьяков // МИРОВАЯ ЭКОНОМИКА И МЕЖДУНАРОДНЫЕ ОТНОШЕНИЯ. — 2023. — № 6. — С. 47-60.

5. Текущие проекты [Электронный ресурс]. <https://rusatom-overseas.com/ru/smr/tekushchie-proekty/> (дата обращения: 31.10.2023)

УДК 621.039.7

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Юлия Владимировна Ошмарина

Научный руководитель Руслан Владимирович Бускин

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

[oshmarina2004@list.ru](mailto:oshmarina2004@list.ru)

**Аннотация.** В статье освещены способы переработки жидких радиоактивных отходов. Оценены перспективы способов переработки. Показаны практическая составляющая использования конечных продуктов переработки.

**Ключевые слова:** переработка, жидкие радиоактивных отходы (ЖРО), ионоселективная очистка, нерадиоактивный солевой плав, радиационная безопасность, радиоактивные отходы (РАО).

## PROSPECTS FOR THE PROCESSING OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE

Yulia V. Oshmarina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[oshmarina2004@list.ru](mailto:oshmarina2004@list.ru)

**Abstract.** The article highlights the ways of processing liquid radioactive waste. The prospects of processing methods are evaluated. The practical component of the use of the final products of processing is shown.

**Keywords:** recycling, liquid radioactive waste (LRW), ion-selective purification, non-radioactive salt melt, radiation safety, radioactive waste (RW).

В настоящее время на атомных станциях есть проблема обращения с радиоактивными отходами. Основная угроза состоит в ионизирующем излучении, что они испускают, оно способно проникать сквозь различные материалы, в том числе ткань человека. При продолжительном влиянии радиоактивное излучение может привести к развитию заболеваний и к смерти.

Жидкие радиоактивные отходы в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области использования атомной энергии должны быть очищены и захоронены в пунктах глубокого захоронения (ПЗРО). ПЗРО удовлетворяют требованиям безопасности после его закрытия, если барьеры безопасности обеспечивают не более 0,3 от предела дозы радиационного облучения населения, прописанного в законодательстве РФ, а также они должны быть устойчивыми к различным катастрофам [1]. Такие отходы относят к пятому классу РАО.

Традиционные способы обращения для низко- и среднеактивных отходов на российских атомных станциях представлены в таблице 1.

Таблица 1

	Преимущества	Недостатки
Цементирование	Способность удерживать форму конструкции; высокая радиационная стойкость цемента; силикат натрия повышает главные показатели технологии	Масса полученного компаунда превышает массу кондиционируемые ЖРО; небольшое уменьшение количества ради высокой вымываемость содержащихся в цементе компонентов; наличие большого количества воды в отвержденном продукте и соли значительно снижают прочность цемента
Битумирование	Термопластичности, гидростойкости битума; стойкость к агрессивным веществам; невысокая стоимость; простота технологии; не вступает в	Масса полученного компаунда превышает массу исходных ЖРО и битума; увеличение солей в битумной смеси приводит к её расслаиванию в разогретом состоянии; смесь

	реакции при нормальных условиях	может быть пищей для бактерий, проживающих вблизи мест захоронения
Остекловывание	Устойчивость полученного продукта; напористость стекла; стойкость к выщелачиванию; уменьшение объёма исходных радиоактивных отходов	Девитрификация при больших температурах; парогазовый этап технологии вызывает коррозию плавителя и сложность газоочистки; многоступенчатая и сложная технология
Ионоселективная очистка	Эффективное сокращение объёма, отправляемого на захоронение; коэффициент сокращения объёма радиоактивных отходов составляет порядка 100; перспективы дальнейшей переработки	Не полное удаление кобальта и повышение радиоактивности из-за окисления некоторых органических компонентов кубового остатка [2]; высокая стоимость оборудования и требовательность к квалификации персонала

Раствор полученный путем очистки ИСО на установке глубокого упаривания превращается в солевой плав, а такой материал может быть захоронен в пунктах для очень низких радиоактивных отходов (ОНАО). Его подают на установку глубокого упаривания и получают нерадиоактивный солевой плав желтого цвета, после чего разливают по контейнерам и хранят в специальном месте на станции, где может безопасно стоять 300–500 лет.

Совершенствование этого метода заключается в разделении ЖРО на отдельные компоненты, для получения азотной кислоты, смешанной калиево-натриевой щелочи и довольно чистой борной кислоты из солевого раствора, которые после можно повторно применять на АЭС В таком случае, можно избежать образование ОНАО. Такой подход уже используется в схеме переработки ЖРО атомного флота в г. Северодвинске [3].

Из переработанных ЖРО получают солевой плав, который впоследствии с помощью разработок Кольского научного центра РАН можно переработать в карбид бора и борную кислоту высокого качества. В свою очередь эти компоненты необходимы для управления реактивности АЭС в процессе эксплуатации, что снизит затраты и уменьшит количество получаемого плава, или можно применять в других сферах жизни

человека. Так отходы можно использовать повторно и получить минимальное количество вторичных отходов.

Таким образом развитие в данной области может привести к практически безотходному и безопасному способу получения энергии, что выведет АЭС и всё человечество на новый уровень.

### **Источники**

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии.

2. Лагунова Ю. О. Использование озона и перекиси водорода для окислительного разложения органических комплексов в процессе очистки ЖРО, 2012. 20 с.

3. Переработка РАО на ФГУП ГМП «Звездочка» в объекте 160/161. Проспект ФГУП ГМП «Звездочка» и НИПТБ «ОНЕГА», 2001.

УДК 621.039.4

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАЛЫХ МОДУЛЬНЫХ РЕАКТОРОВ НА МОРСКОМ ТРАНСПОРТЕ**

Никита Сергеевич Победа

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

pobedanikita4@yandex.ru

**Аннотация.** В статье описываются основные преимущества использования ММР в сравнении с традиционными энергетическими источниками, такими как дизельные генераторы и газовые турбины.

**Ключевые слова:** преимущество, морские суда, окружающая среда, высокий уровень, ряд особенностей.

## **APPLICATION OF SMALL MODULAR REACTORS IN MARINE TRANSPORT**

Nikita S. Pobeda

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

pobedanikita4@yandex.ru

**Abstract.** The article describes the main advantages of using MMR in comparison with traditional energy sources, such as diesel generators and gas turbines.

**Keywords:** advantage, sea vessels, environment, high level, a number of features.

Малые модульные реакторы (ММР) - представляют собой современные ядерные реакторы, которые имеют мощность до 300 МВт (эл.) на каждый энергоблок [1]. Это составляет около трети от генерирующей мощности всех эксплуатируемых традиционных ядерных энергетических реакторов.

Одним из главных преимуществ ММР является их компактность. ММР могут быть разработаны в виде небольших блоков, которые легко устанавливаются на морских судах. Это позволяет существенно снизить вес и габариты судна, что в свою очередь увеличивает его грузоподъемность и экономичность [2]. Кроме того, ММР могут работать на различных видах топлива, что позволяет снизить зависимость от нефти и газа.

Еще одним преимуществом ММР является их высокая эффективность. ММР могут работать в течение длительного времени без необходимости замены топлива или проведения технического обслуживания, что позволяет существенно сократить расходы на эксплуатацию. Кроме того, ММР имеют высокий уровень автоматизации и управляемости, что упрощает их эксплуатацию и снижает риск возникновения аварийных ситуаций [3].

Однако, при проектировании и эксплуатации ММР на морских судах необходимо учитывать ряд особенностей, связанных с безопасностью и защитой окружающей среды. В частности, необходимо обеспечить надежную систему контроля и защиты реактора от возможных аварийных ситуаций, а также предусмотреть меры по минимизации воздействия на окружающую среду в случае аварии.

Несмотря на некоторые технические и организационные сложности, применение ММР на морском транспорте имеет большой потенциал для развития. В настоящее время уже существует ряд успешных проектов, в которых были использованы ММР на морских судах. Например, компания "Rolls-Royce" разработала проект морского судна "Crystal Clear", оснащенного двумя ММР, которые обеспечивают его полную энергетическую независимость [4].

В дальнейшем можно ожидать роста спроса на ММР на морском транспорте, особенно в свете стремления компаний к сокращению затрат на топливо и повышению экологической безопасности. Кроме того,

использование ММП может стать одним из ключевых факторов в развитии новых направлений морского транспорта, таких как автономные суда или эксплуатация судов в отдаленных районах [5].

### **Источники**

1. Атомные станции малой мощности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/atomnye-stantsii-maloy-moschnosti> (дата обращения: 14.07.2023).

2. Атомные станции малой мощности и плавучие АЭС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ibrae.ac.ru/contents/365/> (дата обращения: 14.07.2023).

3. Атомные станции малой мощности от «Росатом» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sdelanounas.ru/blogs/151377/> (дата обращения 14.07.2023).

4. Лавриков, В. А. Малые модульные реакторы: преимущества перед традиционными и перспективы применения / В. А. Лавриков // 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. 109-111. – EDN JBYXZO.

5. Лавриков, В. А. Использование современных модульных ядерных технологий расплавленных солей на морских судах / В. А. Лавриков // Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения : Сборник трудов VII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов, Челябинск, 24 января 2023 года / Науч. Редактор А.Н. Ткачёв. – Челябинск: Южно-Уральский технологический университет, 2023. – С. 196-200. – EDN DXGDKG.

## **МБИР: ОСНОВНЫЕ ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Рауль Рамилевич Раянов

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

mr.mlgghost@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается Многоцелевой быстрый исследовательский реактор, его основные преимущества и недостатки, влияние на развитие науки и ядерной энергетики России и мира в целом.

**Ключевые слова:** исследовательский реактор, наука, энергетика, МБИР.

## **MBIR: MAIN ADVANTAGES, DISADVANTAGES AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

Raul R. Rayanov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

mr.mlgghost@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the Multi-purpose Fast Research Reactor, its main advantages and disadvantages, impact on the development of science and nuclear energy in Russia and The world as whole.

**Keywords:** research reactor, science, power energy, MBIR.

Неотъемлемой частью ядерной энергетики является ее экспериментальная и исследовательская база, поддержание и развитие которой обеспечит лидерство России в научной и технической областях атомной отрасли.

Многие исследовательские реакторы (ИР) введены в эксплуатацию несколько десятков лет назад, и в скором времени российская экспериментальная база во многом себя исчерпает.

Для предотвращения такого варианта развития событий необходимо осуществить обновление исследовательской области ядерной энергетики.



Решением этой проблемы является сооружение Многоцелевого быстрого исследовательского реактора (МБИР), строительство которого началось в 2015 году в городе Димитровград, а ввод в эксплуатацию намечен на 2028 год [1].

Целью строительства МБИР является создание высокопоточного исследовательского реактора на быстрых нейтронах, чтобы решать широкий спектр задач. Это включает проведение внутриреакторных и послереакторных исследований, использование реактора для обеспечения электроэнергией и теплом, а также разработка новых технологий для производства радиоизотопов и модифицированных материалов.

Среди исследовательских реакторов, МБИР обладает наибольшей тепловой мощностью порядка 150 МВт и самой высокой плотностью потока быстрых нейтронов [2], что значительно уменьшает время проведения исследований в области радиационного воздействия на материалы. Также немаловажной особенностью МБИР является наличие специальных каналов в активной зоне, в которые можно установить отдельную петлю со своим теплоносителем. Это позволяет экспериментировать с одним реактором на нескольких концепциях ядерных установок[3].

Немаловажной особенностью является гибкость в использовании различного топлива. Это позволяет адаптировать реактор под различные исследовательские и производственные цели. МБИР может работать на обогащенном урановом топливе, плутониевом и смешанном топливе. Однако достижение высокой плотности потока нейтронов возможно только на виброуплотненном МОКС-топливе, производство которого сложнее и требует особой защиты.

Развитие МБИР откроет много возможностей для ядерной энергетики, в первую очередь это повышение безопасности благодаря исследованию систем защиты от аварий и конструкционных материалов, также увеличение эффективности путем использования новых топливных элементов, оптимизации систем охлаждения. На базе МБИР также создается международный центр исследований (МЦИ МБИР), который дополнительно способствует развитию науки и ядерных технологий, а также обеспечивает международное сотрудничество, обучение и обмен между исследователями и специалистами из разных стран [4].

Таким образом, значение МБИР довольно велико для ядерной энергетики, новый исследовательский реактор откроет возможности

проводить более широкий спектр научных исследований, что способствует развитию энергетики, промышленности, медицины и других отраслей. Количество партнеров МЦИ МБИР составляет уже более 20 иностранных и международных организаций, и с многими из них сотрудничество уже имеет практические результаты[5].

### **Источники**

1. Многоцелевой реактор на быстрых нейтронах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.niiar.ru/mbir> (дата обращения 01.11.2023)
2. Новый исследовательский реактор МБИР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ippe.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors/121-fast-neutron-research-reactor> (дата обращения 01.11.2023)
3. Новый высокопроизводительный реактор МБИР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tnenergy.livejournal.com/11041.html> (дата обращения 01.11.2023)
4. МБИР: Легкий, быстрый, уникальный. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosatomnewsletter.com/ru/2023/03/02/mbir-lightweight-fast-and-unparalleled/> (дата обращения 01.11.2023)
5. База для развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://atomvestnik.ru/2023/04/03/baza-dlja-razvitija/> (дата обращения 01.11.2023)

## РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

Ольга Олеговна Селендюкова

Науч. рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
olgaselendukova@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены этапы развития управляемого термоядерного синтеза, а также современные аспекты. Представлены возможности и перспективы использования управляемого термоядерного синтеза в различных областях науки и техники.

**Ключевые слова:** управляемый термоядерный синтез, лазерное обжатие, магнитные ловушки, термоядерный реактор, тороидальные камеры.

## IMPLEMENTATION OF CONTROLLED THERMONUCLEAR FUSION

Olga O. Selendyukova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
olgaselendukova@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the stages of development of controlled thermonuclear fusion, as well as modern aspects. The possibilities and prospects of using controlled thermonuclear fusion in various fields of science and technology are presented.

**Keywords:** controlled thermonuclear fusion, laser compression, magnetic traps, thermonuclear reactor, toroidal chambers.

Управляемый термоядерный синтез (УТС) – процесс, в основе которого лежит ядерный синтез, при котором происходит отбор и в последующем использование выделившейся в результате синтеза энергии, полученной от продуктов реакции [2].

Строительство международного экспериментального термоядерного реактора (ИТЭР) нужно для накопления опыта, необходимого для дальнейшего развития термоядерной энергетики. А самая главная функция – это продемонстрировать возможности реализации термоядерного реактора [5].

Первые попытки осуществления управляемого термоядерного синтеза начались в 1950-х годах, путем пропускания электрического тока

через специальную тороидальную камеру, после чего ток нагревал плазму до 15 миллионов градусов, вследствие воздействия столь высоких температур атомы сливались, производя нейтроны [1]. Однако проведение дальнейших исследований показало, что данный проект невозможно реализовать в масштабах создания термоядерного реактора, поскольку обжатие плазмы путем воздействия на нее магнитным полем оказалось неустойчивым (уплотнения элементов камеры были далеки от совершенства, из-за чего наружу постоянно высвобождались отдельные струйки плазмы), и потому ученые начали изучать другие возможности проведения управляемого термоядерного синтеза [4].

В 1955 году был произведен первый эксперимент с использованием магнитных ловушек. Суть этого метода заключалась в том, чтобы вместо закрытого тора использовать магнитный сосуд вытянутой формы, открытый с двух противоположных концов. При таком сосуде плазма разогревается до нужной температуры, отдает энергию и выходит через боковое отверстие [3]. Но и как при первой попытке реализации УТС из-за неустойчивости плазмы, что привело к невозможности достичь необходимых температур.

Впоследствии учеными были разработаны иные способы осуществления УТС. Так, одним из следующих методов осуществления управляемого термоядерного синтеза является лазерное обжатие. В 1960 году академик Андрей Сахаров предположил и доказал, что УТС возможен без использования магнитных ловушек [4]. При помощи лазеров или пучков излучения миниатюрные мишени с замороженным D-T (смесь тяжелых изотопов водорода – дейтерия и трития) составом в импульсных системах взрываются [5]. Это нужно для того, чтобы получить аналог взрыва топлива в бензиновых двигателях на уровне термоядерных реакциях. При этом периодические взрывы не повреждают оболочку реактора. Но и этот метод оказался неэффективным, так как мишени необходимо систематично помещать в камеры (тороидальные камеры с магнитными катушками) для проведения взрыва. Который, в свою очередь, эквивалентен тонне тротила, что и вызывает большие убытки [1].

Таким образом, нет принципиальных препятствий для поддержания управляемого термоядерного синтеза в земных условиях. Но, исходя из опыта, приведенного выше, попытки реализовать УТС в лабораторных условиях не оправдали своих ожиданий. На настоящий момент единственный способ реализовать УТС без серьезных трудностей, свойственных магнитному термоядерному реактору, это установить его в космосе. Однако и эта реализация является отдаленной и затратной.

## Источники

1. Управляемый термоядерный синтез [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://old.bigenc.ru/physics/text/4700247> (Дата обращения 1.10.2023).
2. Управляемый термоядерный синтез и будущее энергетики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://jeees.ru/2021/05/06/управляемый-термоядерный-синтез-и-бу/> (Дата обращения 30.09.2023).
3. Как укротить термоядерный синтез и зачем он нам нужен? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/toshibarus/articles/528902/> (Дата обращения 1.10.2023).
4. Управляемый термоядерный синтез и будущее энергетики [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://elib.biblioatom.ru/text/nigmatulin\\_upravlyaemyu-termoyadernyy-sintez\\_2020/go,0/](http://elib.biblioatom.ru/text/nigmatulin_upravlyaemyu-termoyadernyy-sintez_2020/go,0/) (Дата обращения 30.09.2023).
5. Исследования по термоядерному синтезу на мощных лазерных установках [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://book.sarov.ru/wp-content/uploads/Trud-v12-2008-8.pdf> (Дата обращения 1.10.2023).

УДК 536.2

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНДЕНСАЦИОННОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА ВМЕСТЕ С ПАРОВЫМ КОТЛОМ ТГМ-96А НА ПРИМЕРЕ УСТАНОВКИ ЕГО НА ТЭЦ

Никита Валерьевич Сергеев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Муртазин А.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[cw.tawer@yandex.ru](mailto:cw.tawer@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье проанализировано исследование установки конденсационного экономайзера для утилизации теплоты дымовых газов на два парогенератора ТГМ-96А для снижения расхода топлива и снижения вредных выбросов в окружающую среду.

**Ключевые слова:** конденсационный экономайзер, утилизация теплоты, повышение эффективности парогенератора, снижение вредных выбросов.

# ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE CONDENSATION ECONOMIZER TOGETHER WITH THE STEAM BOILER TGM-96A ON THE EXAMPLE OF ITS INSTALLATION AT THE CHP

Nikita V. Sergeev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

cw.tawer@yandex.ru

**Abstract.** The article analyzes the study of the installation of a condensation economizer for the utilization of flue gas heat on two steam generators TGM-96A to reduce fuel consumption and reduce harmful emissions into the environment.

**Keywords:** condensation economizer, heat recovery, improving the efficiency of the steam generator, reducing harmful emissions.

Эффективное использование топлива в больших энергетических котлах тесно связано с оптимизацией процесса утилизации отработанного тепла в выхлопных газах. Один из эффективных методов повышения энергоэффективности состоит в использовании современных конденсационных экономайзеров (КЭ) для утилизации теплоты дымовых газов от котлов. Эффективность котлов, сжигающих природный газ, может достигать до 97%, а при использовании скрытой теплоты конденсации водяных паров, содержащихся в дымовых газах, может увеличиться на 8-12% при идеальных условиях [1]. Также известно, что при охлаждении выхлопных газов со 150°C до 40°C экономия топлива достигает 10-12% [2,3].

Исследование проводилось на Киевской ТЭЦ-5. Предполагалось, что два котла суммарно работают около 7800 часов год при средней мощности 260 МВт, причем оба котла не работали одновременно с конденсационным экономайзером, а работали последовательно каждый по мере необходимости. В анализе принималось: объем уходящих газов будет равен 411000 нм<sup>3</sup>/ч, температура уходящих газов от 110°C до 130°C, средняя температура будет равна 123°C. Коэффициент избытка воздуха должен быть не выше 1,4 для поддержания необходимого уровня конденсации водяных паров [5].

## Среднегодовые характеристики котла ТГМ-96А вместе с КЭ

Характеристика	Единица измерения
Производительность котла по пару, м <sup>3</sup> /ч	372
Расход топлива (природный газ), нм <sup>3</sup> /ч	29000
Средняя мощность котла, Гкал/ч	222
Температура газов до КЭ, °С	123
Коэффициент избытка воздуха в камере сгорания	1,11
Коэффициент избытка воздуха после котла	1,4
КПД котла, %	92,36
Общее время работы котла, ч/год	7800

Утилизация теплоты дымовых газов может использоваться для:

1. Нагрева обратной сетевой воды из тепловой сети с расходом 2000-3000 м<sup>3</sup>/ч. Поскольку в разное время года температура будет разной, то летом, в месяцы июнь, июль и август, температура колеблется между 52°С и 55°С, а зимой, в зимний сезон, она находится в диапазоне 46°С - 50°С. Исходя из опыта, когда температура обратной воды повышается с 53°С до 55°С (при наличии достаточного расхода охлаждающей воды), температура газов на выходе обычно возрастает и может превышать 56°С - 58°С. В результате при такой температуре часть содержащихся в газах продуктов сгорания конденсируется. Зимой потребление сетевой воды в теплоснабжающей сети может варьироваться от 10 до 15 Гкал/ч, а летом это значение снижается и составляет от 8 до 10 Гкал/ч. Расстояние между теплоутилизатором и тепловой сети составляет приблизительно 250 м.

2. Нагрева подпиточной воды для тепловой сети с расходом до 500 м<sup>3</sup>/ч и температурой около 30°С. Экономия тепловой энергии в данном случае будет от 8 до 10 Гкал/ч. Расстояние от теплоутилизатора до источника подпитки достигает до 100 м.

3. Нагрева технической воды из реки со средним расходом 660 м<sup>3</sup>/ч и температурой воды 15-25°С.

Среднегодовые характеристики котла показаны в таблице 1.

Принимая во внимание все потери, расходы на электроэнергию для насосов (8502 МВт·ч/год при цене 58,36 евро/МВт·ч), дутьевых машин, химические реагенты для очистки конденсата (20 евро/ч), можно сказать, что при использовании теплоты уходящих газов для воды трех контуров в проекте денежная экономия проекта составит 4 741 295 евро/год, расчетный срок окупаемости – 2,05 года, а ожидаемая максимальная

производительность теплоутилизатора будет 21-23,5 Гкал/ч. Также меры по энергосбережению приведут к тому, что экономия тепловой энергии составит 163323 Гкал/год, сокращение выбросов окислов азота на 52,17 т/год, сокращение выбросов двуокиси углерода на 36068 т/год [4].

### **Источники**

1. И. З. Аронов., Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа / 2-е изд., перераб. и доп. - Ленинград: Недра: Ленингр. отд-ние, 1990. - 279, с.: ил.; 22 см.; ISBN 5-247-01523-1

2. Илиев И. Средства и методы утилизации отходящего тепла из низкосортных парогазовых потоков. Монография, Издательский центр университета Русе, 2013.

3. U.S. Department of ENERGY, Energy Efficiency & Renewable Energy DOE/GO102012-3393, 2012. [https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_assistance/pdfs/steam26a\\_condensing.pdf](https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/steam26a_condensing.pdf).

4. Iliya K. Iliev, Angel Terziev, Hristo Beloev, Condensing economizers for large scale steam boilers / E3S Web of Conferences, 2020.

5. Кудинов А. А., Зиганшина С. К., Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. М.: Машиностроение, 2011. — 374 с., ил. 117.

УДК 620.9:662.92

## **ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ КОМПРЕССОРА НА РАБОТУ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ**

Екатерина Алексевна Сергеева<sup>1</sup>, Дмитрий Александрович Базин<sup>2</sup>

Науч. Рук. Доцент Александр Игоревич Ляпин

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

<sup>1</sup>sergeevalk06@gmail.com , <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

**Аннотация.** Компрессор играет важную роль в процессе работы газовой турбины. Однако, как и любое другое оборудование, компрессор может иметь дефекты, которые могут негативно сказаться на работе газовой турбины. Цель настоящей статьи – провести обзор литературных данных о влиянии дефектов компрессора на работу газовой турбины.

**Ключевые слова:** Газовая турбина, работа, компрессор, дефекты, эффективность.



# THE EFFECT OF COMPRESSOR DEFECTS ON THE OPERATION OF A GAS TURBINE

Ekaterina A. Sergeeva<sup>1</sup>, Dmitry A. Bazin<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>sergeevalk06@gmail.com , <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

**Abstract.** The compressor plays an important role in the operation of the gas turbine. However, like any other equipment, the compressor may have defects that can negatively affect the operation of the gas turbine. The purpose of this article is to review the literature data on the effect of compressor defects on the operation of a gas turbine.

**Keywords:** Gas turbine, operation, compressor, defects, efficiency.

Газовая турбина является одним из ключевых элементов в системе производства электроэнергии и промышленных процессов. Компрессор газовой турбины играет важную роль в обеспечении необходимого давления и объема воздуха для сжигания топлива и последующего приведения в действие турбины. Однако, дефекты компрессора могут серьезно повлиять на его работу, вызывая снижение производительности и надежности всей системы. В данной статье будет рассмотрено влияние дефектов компрессора на работу газовой турбины, а также предложены методы и рекомендации по их предотвращению.

Один из наиболее распространенных дефектов компрессора — это износ лопаток. Лопатки компрессора подвержены механическому напряжению и высоким температурам, что может привести к их износу со временем. Изношенные лопатки могут привести к уменьшению сжатия воздуха, что снижает эффективность работы газовой турбины. Более того, изношенные лопатки могут стать причиной повреждения других компонентов, таких как турбина или горелка [1].

Другим распространенным дефектом компрессора является коррозия. Коррозия может быть вызвана воздействием влаги, агрессивных химических веществ или неправильного обслуживания. Коррозия приводит к образованию отложений на поверхности лопаток, что ухудшает их аэродинамические характеристики и снижает эффективность компрессора.

Попадание посторонних предметов в компрессор также может стать причиной дефектов. Посторонние предметы могут повредить лопатки, вызвать их износ или даже поломку. Поэтому очень важно

правильно обслуживать и хранить компрессор, чтобы избежать подобных проблем [2].

### **Методы и рекомендации по предотвращению появления дефектов компрессора:**

#### **1. Регулярное обслуживание компрессора**

Проведение регулярных проверок состояния компрессора позволяет выявить износ лопаток и провести необходимые ремонтные работы. Рекомендуется проводить проверки не реже одного раза в год, а также при каждом плановом техническом обслуживании газовой турбины [3];

#### **2. Очистка компрессора от абразивных частиц**

Абразивные частицы, попадающие в компрессор, могут привести к износу лопаток и снижению его эффективности. Для предотвращения этого необходимо очищать компрессор от абразивных частиц. Для этого можно использовать фильтры или другие средства для удаления абразивных частиц из воздуха или газа, поступающего в компрессор;

#### **3. Защита компрессора от агрессивных сред**

Компрессор следует защищать от воздействия агрессивных сред, таких как агрессивные газы или влага. Для этого можно использовать соответствующие защитные покрытия на поверхности лопаток или установить системы контроля и предотвращения коррозии [4];

#### **4. Учет высоких температур при проектировании компрессора**

Высокие температуры могут вызвать термическое расширение лопаток и их деформацию, что приведет к возникновению дефектов. Для предотвращения этого необходимо предусмотреть меры, такие как использование специальных материалов, покрытий или систем охлаждения, которые помогут предотвратить термическое расширение и деформацию лопаток;

#### **5. Использование специальных покрытий на поверхности лопаток**

Использование специальных покрытий на поверхности лопаток компрессора может значительно улучшить их износостойкость и защитить от коррозии [5];

#### **6. Контроль рабочих параметров компрессора**

Рабочие параметры компрессора, такие как температура и давление, являются важными факторами, которые могут влиять на его работу. Необходимо регулярно контролировать эти параметры и регулировать их в соответствии с рекомендациями производителя. Неправильные рабочие параметры могут вызвать перегрев компрессора, износ лопаток и снижение его производительности [3].

7. Обучение персонала правильным методам эксплуатации и обслуживания

Обучение персонала, работающего с компрессором, правильным методам эксплуатации и обслуживания является важным шагом для предотвращения дефектов. Персонал должен быть осведомлен о правилах работы с компрессором, а также о методах обслуживания и ремонта. Неправильное использование или обслуживание компрессора может привести к его повреждению и снижению производительности.

8. Замена лопаток при необходимости

Изношенные или поврежденные лопатки могут вызвать снижение производительности компрессора и всей газовой турбины;

9. Сотрудничество с производителем или специалистами

Сотрудничество с производителем или специалистами в области газовых турбин может помочь получить рекомендации и советы по предотвращению дефектов компрессора и улучшению его надежности и производительности.

Дефекты компрессора могут серьезно повлиять на работу газовой турбины, вызывая снижение производительности и надежности всей системы. Однако, соблюдение рекомендаций по обслуживанию, очистке и защите компрессора, а также контроль рабочих параметров и замена изношенных лопаток, позволит предотвратить возникновение дефектов и обеспечить нормальную работу газовой турбины.

## **Источники**

1. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А.Г. Костюк, В.В.Фролов, А.Е.Булкин, А.Д. Трухний ; под ред. А.Г. Костюка. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. Соколов В.С. Газотурбинные установки, 1986.

2. Газотурбинные установки : [Учеб. пособие] / В. С. Соколов. - Москва: Высш. шк., 1986. - 150,[1] с.

3. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных Т 33 установок: учебник для вузов/ [А. Н. Арбеков и др.]; под общ. ред. А. Ю. Вараксина. -4-е изд., испр. -Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017.

4. Газотурбинные установки: учебное пособие / А. В. Рудаченко, Н. В. Чухарева, С. С. Байкин ; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Томский

политехнический ун-т". - Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2008. - 138 с.

5. Теория и проектирование газовой турбины: учебное пособие / В. Е. Михальцев, В. Д. Моляков; под ред. А. Ю. Вараксина. - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. - 230 с.

УДК 621.311.22

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА В СОСТАВЕ ПГУ

Камиль Ильгизарович Сунгатуллин<sup>1</sup>, Дмитрий Александрович Базин<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Чичирова Н.Д.

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

<sup>1</sup>ksungatullin061@gmail.com, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

**Аннотация.** Использование гибридных электростанций с топливными элементами может повысить КПД, существенно улучшить экологические показатели и значительно снизить расходы на топливо. В данной статье рассмотрено использование электростанции с ТОТЭ (твердооксидный топливный элемент).

**Ключевые слова:** ТОТЭ, электростанция, гибридные технологии, КПД, топливо.

## UTILISATION OF SOLID OXIDE FUEL CELL IN THE COMPOSITION OF A SGP

Kamil I. Sungatullin<sup>1</sup>, Dmitry A. Bazin<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>ksungatullin061@gmail.com, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

**Abstract.** The use of hybrid power plants with fuel cells can increase efficiency, significantly improve environmental performance and significantly reduce fuel costs. This article considers the use of power plant with TOTE (solid oxide fuel cell).

**Keywords:** fuel cell, power plant, hybrid technologies, efficiency, fuel.

В условиях постоянного роста стоимости энергоресурсов, необходимость в улучшении коэффициента полезного действия энергоустановок становится все более актуальной. Особенно учитывая, что даже небольшой прирост КПД в течение продолжительного периода

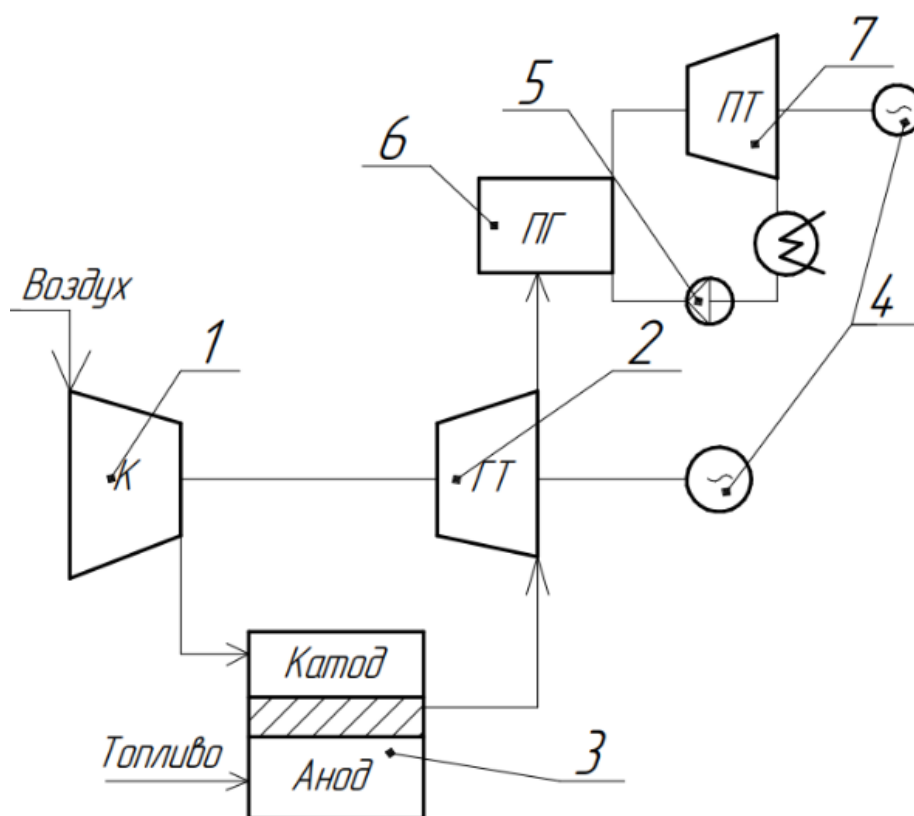
эксплуатации может привести к значительной экономии ресурсов [1]. Одним из основных способов производства электроэнергии является преобразование тепла, получаемого при сжигании ископаемого топлива - угля, природного газа и нефтепродуктов. Однако этот процесс не слишком эффективен и порой негативно сказывается на экологии. Вместе с тем, использование гибридных электростанций с топливными элементами может повысить КПД, существенно улучшить экологические показатели и значительно снизить расходы на топливо.

В настоящее время остро стоит вопрос разработки инновационных методов выработки электрической энергии путём использования твёрдооксидных топливных элементов совместно с парогазовыми установками поскольку они более эффективны, чем тепловые электростанции (ТЭС), работающие на сжигании топлива, из-за термодинамических ограничений циклов сгорания [2]. Твёрдооксидные топливные элементы представляют собой особую разновидность топливных элементов, отличающихся особым электролитом – керамическим материалом, обладающим проницаемостью для ионов кислорода. Данный вид топливных элементов широко применяется в различных отраслях, таких как энергетика и промышленность. Эти топливные элементы обеспечивают надёжный и стабильный источник энергопитания, что делает их привлекательным выбором для различных технических систем и устройств, которым требуется непрерывное и долгосрочное энергоснабжение. Керамический материал, используемый в этих топливных элементах, обеспечивает высокую стабильность и долговечность работы системы, что увеличивает ее эффективность и надёжность. ТОТЭ — это устройства для прямого преобразования химической энергии в электрическую. Их можно рассматривать как объединение в одном устройстве гальванического элемента и теплового двигателя, нуждающегося в непрерывной подаче топлива и окислителя. Благодаря этому топливные элементы называют электрохимическими генераторами. От обычных аккумуляторов они отличаются тем, что реакция протекает до тех пор, пока топливо и окислитель поступают извне [3]. Химические реакции в топливных элементах происходят на пористых электродах. Анод принимает водород, который далее расщепляется на электроны и протоны.

Твёрдооксидные топливные элементы дают нам возможность одновременно производить электрическую и тепловую энергии. Эти элементы работают при высокой температуре (700 - 1000 °С) и применяются для стационарных установок мощностью от 1 кВт и выше.

Их отработанные газы могут быть использованы для приведения в действия газовой турбины, чтобы повысить общий коэффициент полезного действия. Благодаря высокой рабочей температуре ТОТЭ, приводящей к образованию высокотемпературных выхлопных газов, их можно термически комбинировать с традиционными циклами производства электроэнергии, такими как Брайтон, Ренки, Калина, органический Ренкин, двигатель Стирлинга или системы охлаждения, тем самым улучшая общую эффективность системы [4]. Превосходства твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) в том, что они экологически чисты и могут работать на многих видах топлива, таких как: метан, бутан, пропан, дизельное топливо, бензин, уголь, спирты, а также древесина, торф и стружка[5]. В процессе конверсии в топливном процессоре это разнообразное сырье превращается в горючий газ, содержащий водород, который затем поступает в батарею генератора.

На рисунке 1 показана схема ТОТЭ-ПГУ (парогазовая установка).



ТОТЭ-ПГУ

- 1 – Компрессор; 2 – Газовая турбина; 3 – ТОТЭ; 4 – Электрогенератор; 5 – Питательный насос; 6 – Парогенератор; 7 – Парогазовая турбина.

ТОТЭ могут работать как в постоянном, так и в переменном режимах, что позволяет эффективно управлять нагрузкой и регулировать производство электроэнергии в зависимости от потребностей, также они имеют долгий срок службы и низкое количество движущихся частей, что уменьшает необходимость в регулярной замене и обслуживании. ТОТЭ имеют высокий КПД и могут преобразовывать топливо в электроэнергию с высокой эффективностью, что может увеличить общую эффективность парогазовой установки.

### Источники

1. Лоскутников, А. А. Расчет работы твердооксидных топливных элементов в составе комбинированных ГТУ / А. А. Лоскутников, Н. С. Сенюшкин, И. М. Горюнов, Л. Р. Ялчибаева. — Текст : непосредственный // Технические науки: теория и практика : материалы I Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.). — Чита : Издательство Молодой ученый, 2012. — С. 84-86.
2. Десятков А.В, Курбатов А.Ю, Аверина Ю.М, Болдырев В.С. Твердооксидные топливные элементы: энергия будущего
3. ФГБНУ «Научно-исследовательский институт Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы».
4. Твердооксидные топливные элементы: проблемы, пути решения
5. Мохаммад Али Эмади, Назанин Читгар, Ойения А. Ойевунми, Кристос Н. Маркидес, Выбор рабочей жидкости и термoeкономическая оптимизация комбинированной когенерационной двухконтурной системы органического цикла Ренкина (ORC) для рекуперации отработанного тепла твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ).
6. Эркабаева, Е. О. Применение твердооксидных топливных элементов для производства электроэнергии / Е. О. Эркабаева, И. А. Швецов ; науч. рук. С. А. Качан // Актуальные проблемы энергетики : материалы 74-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет ; ред. Т. Е. Жуковская. – Минск : БНТУ, 2018. – С. 117-123.

## ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕАКТОРА ТИПА ВВЭР

Вячеслав Владимирович Титенков

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

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

VyacheslavT90@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены различные аспекты водного режима для реакторов типа ВВЭР, начиная с его основных принципов и компонентов, далее влияние водного режима на безопасность и эффективность работы реакторов. Представлены основные методы контроля и регулирования водного режима и современные технологические разработки в этой области.

**Ключевые слова:** водный режим, ВВЭР, безопасность, методы контроля и эффективности, очистка воды, эксплуатация.

## WATER MODE OF THE PWR

Vyacheslav V. Titenkov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

VyacheslavT90@yandex.ru

**Abstract.** The article discusses various aspects of the water regime for VVER-type reactors, starting with its basic principles and components, then the influence of the water regime on the safety and efficiency of reactors. The main methods of monitoring and regulating the water regime and modern technological developments in this area are presented.

**Keywords:** water regime, PWR, safety, methods of control and efficiency, water purification, operation.

Важное значение в работе и обеспечении безопасности реакторов типа ВВЭР имеет регулирование водного режима. В этих реакторах вода выполняет роль не только теплоносителя, но и модератора, протекая через реактор для охлаждения топливных элементов и снижения энергии нейтронов, обеспечивая стабильность ядерного реакторного процесса. Это достигается путем предотвращения образования:

1) Накипи и отложений на теплообменных поверхностях различного оборудования, включая конденсаторы турбин и ТВЭЛы.



2) Шлама в системах и трубопроводах аварийного снижения радиационных рисков и в тепловых сетях.

3) Коррозии внутренних поверхностей оборудования для подготовки воды и теплоэнергетического оборудования, а также тепловых сетей.

4) Отложений в проточной части турбин [1].

В ядерных реакторах, основанных на урановом делении, каждое деление ядра урана U-235 порождает до 2,5 новых нейтронов. Однако для обеспечения стабильности реактора требуется удалять из процесса избыточное количество нейтронов (порядка 60%). Эту задачу можно решить несколькими способами [2]:

1) Добавление в топливо веществ, которые способны поглощать лишние нейтроны, такие как гадолиний, самарий, европий и другие.

2) Введение в активную зону реактора специальных регулирующих стержней с поглотителями нейтронов, например, соединениями бора-карбида или бористыми спецсталими.

3) Введение в поток теплоносителя переменного количества растворимых соединений химических элементов с повышенной способностью поглощать нейтроны [3].

В реакторах типа ВВЭР-PWR для этой цели обычно используется ортоборная кислота (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), обладающая при высоких температурах растворимостью в воде более 40% масс, в виде изотопа В-10. Активным поглотителем нейтронов в природном боре является содержащийся в нем в количестве 19% легкий изотоп бора «В-10», сечение поглощения тепловых нейтронов у которого достигает величины 3900 барн [4].

Требования для нормирования водного режима реакторов ВВЭР с борным регулированием, включают:

1. Управление рН в безопасных пределах коррозии.

3. Ограничение радиолитического кислорода.

3. Ограничение концентраций хлоридов и фторидов в воде реактора.

4. Эффективное удаление продуктов коррозии конструкционных материалов.

Для выполнения этих условий в реакторной установке используются очистительные и подпиточные установки [5].

Для обеспечения безопасной эксплуатации реакторов ВВЭР с борным регулированием необходимо строго соблюдать регламентированные параметры водного режима. Это включает в себя контроль уровня рН с использованием щелочей, эффективное управление концентрацией кислорода, а также поддержание низких концентраций хлоридов и фторидов. С учетом особенностей аммиака и его влияния на охрупчивание материалов, а также радиолитического кислорода, рекомендуется применение КОН при высоких температурах. Также можно

использовать комбинированный калий-аммиачный водный режим для борьбы с химическим воздействием борной кислоты. Важно также обеспечить чистоту борной кислоты и подпиточной воды, а также эффективно удалять продукты коррозии конструкционных материалов.

### **Источники**

1. В.М. Зорин Атомные электростанции – учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ. 2017.
2. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции – учебник для вузов. М.: Высшая школа. 1984.
3. С. Г. Андрианов, А. Г. Ильченко, В. С. Каёкин Расчет тепловых схем атомных электрических станций – учебно-методическое пособие. Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина". 2016.
4. Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин Тепловые и атомные электрические станции – Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат. 1995.
5. Камерон И. Ядерные реакторы: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.

УДК 621.039.5

## **ПИЛОТНЫЙ ПРОЕКТ АСММ НА БАЗЕ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ ШЕЛЬФ-М ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Вячеслав Владимирович Титенков

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

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

VyacheslavT90@yandex.ru

**Аннотация.** Пилотный проект атомной станции малой мощности на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М представляет собой инновационное решение для обеспечения энергоснабжения арктических месторождений твердых полезных ископаемых. В данной статье рассматриваются ключевые аспекты этого проекта, его преимущества и перспективы.

**Ключевые слова:** атомная станция, реакторная установка ШЕЛЬФ-М, энергоснабжение, полезные ископаемые.

# NSME PILOT PROJECT BASED ON THE SHELF-M REACTOR PLANT FOR POWER SUPPLY OF ARCTIC DEPOSITS OF SOLID MINERALS

Vyacheslav V. Titenkov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
VyacheslavT90@yandex.ru

**Abstract.** The pilot project of a low-power nuclear power plant based on the SHELF-M reactor plant is an innovative solution for providing energy supply to Arctic deposits of solid minerals. This article discusses the key aspects of this project, its advantages and prospects.

**Keywords:** nuclear power plant, SHELF-M reactor plant, power supply, minerals.

Арктика - это один из самых недоступных и экологически уязвимых регионов нашей планеты. В то же время, эта область обладает огромными запасами твердых полезных ископаемых, таких как нефть, природный газ и металлы. Один из ключевых аспектов эксплуатации арктических месторождений - обеспечение надежного и эффективного энергоснабжения. В связи с этим, пилотный проект атомной станции малой мощности на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М представляет собой инновационное решение для этой проблемы. Капсула мощности разработана в двух вариантах: с содержанием только всех компонентов реактора и капсулой большего размера, которая включает также пакет турбогенератора, систему автоматизированного и дистанционного управления, систему мониторинга и защиты, а также систему регулирования выходной электроэнергии [1].

Капсула мощности ШЕЛЬФ-М может использоваться как на плаву и под водой на атомных электростанциях. Проект ШЕЛЬФ-М имеет схожий с морскими атомными энергетическими установками инженерный дизайн. Энергетический блок доставляется как одиночный модуль со всеми его компонентами, размещенными внутри высокопрочного контейнера. «Шельф-М» модернизации НИКИЭТ – это водо-водяной энергоблок с водой под давлением с компоновкой интегрального типа, его тепловая мощность достигает 30 МВт, а электрическая мощность – 10 МВт, при этом он может добавочно выдавать 12 Гкал/ч тепла, которое может использоваться для отопления небольших близлежащих строений с населением до 100 тыс. человек, и опреснять воду до 500 м<sup>3</sup>/ч. Для

использования на суше тепло удаляется с помощью внешних теплообменников с охлаждением механическими системами подачи воздуха. Для устройств на подводных платформах теплоотвод обеспечивается морской водой.

Весь реакторный блок находится в едином стальном модуле диаметром 8 м и длиной 14 м, вес полностью подготовленного модуля вместе с реакторной установкой — 370 т. Планируется даже организация удаленного управления станцией. В июне Росатом сообщил о намерении построить первый Шельф-М в Якутии в 2030 году [2].

В качестве топлива будет использоваться диоксид урана в матрице из силумина, сплава алюминия с кремнием. Установка имеет срок службы в 60 лет и может быть перемещена с места на место при необходимости, например, на барже.

Активная зона «Шельф-М» выполнена в канальной схеме, а компоновка активной зоны и топливная композиция аналогичны тем, что используются на атомных ледоколах [3].

«Шельф-М» способен работать в режиме естественной циркуляции теплоносителя первого контура, составляя примерно 30% от максимальной мощности. Научные исследователи в НИКИЭТ приходят к выводу, что не всегда необходимо полностью осуществлять циркуляцию исключительно при помощи естественных процессов, поскольку установка должна легко транспортироваться, а реактор должен иметь разумные габаритные характеристики [4]. Однако, часть систем безопасности в «Шельф-М» работает на принципе естественной циркуляции, включая системы аварийного охлаждения реактора и расхолаживания, которые не требуют для своей работы систем подачи питания или насосов [5].

Пилотный проект атомной станции на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М предоставляет надежное и устойчивое решение для энергоснабжения арктических месторождений твердых полезных ископаемых. Этот проект открывает новые перспективы для разработки и добычи ресурсов в одном из самых непростых климатических условий на Земле. При успешной реализации, он может стать образцовым для других регионов, где обеспечение энергии является ключевой проблемой.

## **Источники**

1. Горчаков Д. Малые АЭС и зачем они нужны [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/timeweb/blog/674834/> (дата обращения: 08.01.2023).

2. Джанлука Риччио. Проект Пеле. Первый переносной ядерный микрореактор в 2024 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.futuroprossimo.it/2022/06/bwxt-costruira-il-primomicroreattore-nucleare-portatile/> (дата обращения: 05.01.2023).

3. Ultra Safe Nuclear Micro module reactor [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.usnc.com/mmr/> (дата обращения: 04.01.2023).

4. Ultra Safe Nuclear Overview Water Cooled Reactors Team [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://indico.ictp.it/event/8725/session/1/contribution/2/material/slides/0.pdf> (дата обращения: 07.01.2023).

5. Ultra Safe Nuclear SMR\_Book\_2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_Book\\_2020.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf) (дата обращения: 04.01.2023).

УДК 621.039.5

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА СТАНЦИИ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫМ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫМ РЕАКТОРОМ В МЕНДЕЛЕЕВСКЕ**

Андрей Артемович Филимонов

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

[vip.jokermigel@mail.ru](mailto:vip.jokermigel@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматриваются перспективы постройки атомной энерготехнологической станции с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором в Менделеевске, как инновационное и экологически чистое энергетическое решение для Республики Татарстан.

**Ключевые слова:** ВТГР, экология, эффективность, топливо, технологии, развитие.

## **PROSPECTS FOR CONSTRUCTION OF A PLANT WITH HIGH TEMPERATURE GAS COOLED REACTOR IN MENDELEEVSK**

Andrey A. Filimonov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[vip.jokermigel@mail.ru](mailto:vip.jokermigel@mail.ru)

**Abstract:** the article discusses the prospects for the construction of a high-temperature gas-cooled reactor in Mendeleevsk, as an innovative and environmentally friendly energy solution for the Republic of Tatarstan.

**Key words:** HTGR, ecology, efficiency, fuel, technology, development.

Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор – это инновационное энергетическое решение, которое может принести значительные преимущества для развития региона. Станция с таким типом реактора использует передовые технологии газификации и охлаждения для производства электроэнергии и тепла [1].

Одним из главных преимуществ высокотемпературного газоохлаждаемого реактора является его экологическая чистота. В отличие от традиционных энергетических систем, таких как угольные или нефтяные электростанции, ядерные реакторы не выбрасывают в атмосферу вредные вещества и парниковые газы. Это значительно снижает негативное воздействие на окружающую среду и способствует более экологическому и устойчивому развитию региона [2].

Еще одним преимуществом такой станции является ее высокая эффективность. Благодаря передовым технологиям, высокотемпературный газоохлаждаемый реактор может достичь высокой степени использования топлива и производить больше энергии, нежели чем традиционные энергетические системы. Это позволяет снизить затраты на производство электроэнергии и тепла, что в свою очередь приводит к снижению стоимости для потребителей [3].

Кроме того, станция с ВТГР может быть полезна для развития инфраструктуры Республики Татарстан. Она может обеспечить надежное и устойчивое энергоснабжение для промышленных предприятий, коммерческих объектов и жилых домов. Такая станция может стать основой для создания новых рабочих мест и привлечения инвестиций в регион [4].

Однако, необходимо учитывать некоторые проблемы, связанные с постройкой данной станции. В первую очередь, это финансовые затраты на строительство и обслуживание такого объекта. Однако, с учетом возможности снижения затрат на производство водорода, эта инвестиция окупится в будущем [5].

Также стоит учитывать потребность в квалифицированных специалистах для обслуживания и управления станцией. Необходимо разработать программы обучения и подготовки кадров, чтобы обеспечить достаточное количество кадров для работы на станции.

В целом, постройка высокотемпературной газоохлаждаемой станции в Менделеевске имеет большой потенциал для развития города и региона. Это экологически чистое и эффективное энергетическое решение, которое может стать основой для устойчивого развития.

### **Источники**

1. Атомный водород [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://atomvestnik.ru/2022/12/26/atomnyj-vodorod/> (дата обращения: 26.10.2023).

2. Новое развитие получили сенсационные планы «Росатома» построить в Татарстане атомную энерготехнологическую станцию (АЭС) для производства водорода. Впервые эта идея прозвучала в январе 2023 года на заседании совета директоров АО «Татнефтехиминвест-холдинг» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.business-gazeta.ru/article/604381> (дата обращения: 26.10.2023).

3. Перспективы развития высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/technology/73919> (дата обращения 26.10.2023).

4. Преимущества атомной энергетики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosatom.ru/about-nuclear-industry/preimushchestva-atomnoy-energetiki/> (дата обращения 06.10.2023).

5. Энергетика дальнего востока [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rushydro.ru/activity/energetika-dalnego-vostoka/> (дата обращения 14.07.2023).

УДК 621.311

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАРА ДЛЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН В СХЕМАХ ПГУ С КУ**

Ильмир Рустамович Хайдаров

Науч.рук. кан. техн.наук, доцент Рустем Ренатович Вилданов

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

khaidarov.i.r\_2000@kgeu.ru

**Аннотация.** В данной статье автор рассматривает что такое паровая турбина, а также изучает влияние паротурбинного цикла на изменение КПД ПГУ с КУ.

**Ключевые слова:** паротурбина, КПД, промышленность, парогазовая установка, газовая турбина.

# STEAM PARAMETERS FOR STEAM TURBINES IN CCGT CIRCUITS WITH CU

Имир Р. Хайдаров

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

khaidarov.i.r\_2000@kgeu.ru

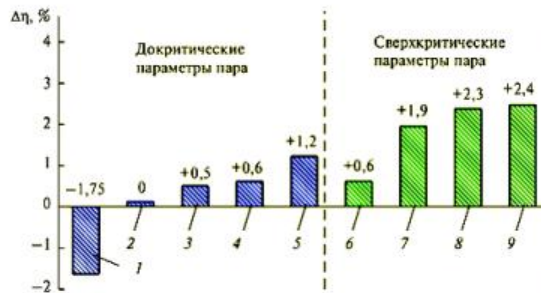
**Abstract.** In this article, the author examines what a steam turbine is, and also studies the effect of a steam turbine cycle on the change in the efficiency of a CCGT with CU.

**Keywords:** steam turbine, efficiency, industry, steam-gas installation, gas turbine.

Паровая турбина – это устройство, которое используется для преобразования энергии пара в механическую энергию. Она широко применяется в различных отраслях промышленности, особенно в генерации электроэнергии. Принцип работы паровой турбины основан на движении высокоскоростного пара, который проходит через серию лопаток или лопастей, установленных на вращающемся валу. При прохождении через лопатки, пар изменяет направление движения и передает свою кинетическую энергию ротору, вызывая его вращение. Уже на вращающемся валу энергия пара преобразуется в механическую работу [2].

В парогазовую установку включена утилизирующая паротурбинная система с котлом-утилизатором и паровой турбиной (ПТУ) с конденсатором. Однако, вырабатывается только 1/3 от всей мощности установки. Тем не менее, это не означает, что экономическая эффективность паротурбинного контура менее значима для ПГУ, чем газотурбинного контура. Напротив, даже при КПД ГТУ 40%, она не может конкурировать с обычной ПТУ, у которой КПД составляет 40...41%, а на некоторых зарубежных электростанциях даже до 45%. Именно в паротурбинном контуре обеспечивается такой добавок в экономичности, который значительно повышает конкурентоспособность ПГУ. Поэтому необходимы сложные утилизирующие котлы и стремление увеличить начальные параметры пара и снизить давление в паровой турбине [1].





Влияние параметров паротурбинного цикла на изменение КПД ПГУ с КУ:

- 1 – одноконтурная;
- 2, 6 – двухконтурная;
- 3, 7 – двухконтурная с ПП;
- 4, 8 – трехконтурная;
- 5, 9 – трехконтурная с ПП

На основании данных фирмы Siemens, (см. рисунок) показывает влияние этих факторов на экономическую эффективность ПГУ. Все сравниваемые варианты имеют одну и ту же ГТУ, с выходной температурой газов 582 °С и давлением 4 кПа в конденсаторе. Для сравнительных целей базовым вариантом (столбец 2 на рисунке) принята двухконтурная ПГУ с паровой турбиной, имеющей начальные параметры 8 МПа и 540 °С. Столбцы 1-5 относятся к докритическим параметрам пара. Видно, что одноконтурная ПГУ без промежуточного перегрева (1) имеет КПД на 1,75% меньше, чем двухконтурная ПГУ без промежуточного перегрева (2). Однако внедрение промежуточного перегрева даже в одноконтурную ПГУ (3) повышает КПД на 2,25%. Двухконтурная ПГУ с промежуточным перегревом (3) и трехконтурная ПГУ без него (4) практически эквивалентны. Наибольший эффект достигается с использованием трехконтурной ПГУ с котлом-утилизатором и промежуточным перегревом пара (столбец 5) [3].

Чтобы повысить экономическую эффективность, можно использовать сверхкритические параметры пара (столбцы 6-9). Однако следует помнить, что это также повлечет за собой значительные капитальные вложения. Поэтому увеличение числа контуров более трех является нецелесообразным, поскольку выгода от повышения экономической эффективности не компенсирует рост капитальных затрат.

Выбор оптимального парогазового цикла происходит на основе анализа запросов заказчика, сбора информации о работе оборудования и выбора соответствующего цикла ПГУ. При определении мощности

газотурбинной установки (ГТУ) заказчик учитывает, как верхний, так и нижний пределы, а также желаемый уровень мощности при частичной нагрузке, принимая во внимание ее КПД. Затем происходит выбор соответствующего графика нагрузки на ГТУ. Окружающая среда играет важную роль в работе силовой установки и проявляет значительное влияние на ее характеристики. Например, эффективность работы газовой турбины напрямую зависит от параметров окружающей среды, таких как давление и температура наружного воздуха, а также относительной мощности установки. Кроме того, для успешной эксплуатации необходимо учитывать экстремальные погодные условия и типичные изменения параметров окружающей среды, которые наблюдаются в течение года [4].

В случае использования ПГУ с котлом-утилизатором, параметры выходных газов ГТУ оказывают значительное влияние на параметры КУ. Давление и температура пара на выходе ЦВД влияют на теплосъем в перегревателе пара, а также на другие газовые поверхности КУ.

Выбор компонентов парового контура, учитывая ограничения технического характера, представляет собой сложное итерационное задание, в котором учитываются различные факторы, включая экономическую эффективность установки. Разработка методики выбора оптимальных параметров преобразовательной турбоустановки в составе парогазовой установки сейчас является актуальной задачей в энергетической отрасли [5].

### **Источники**

1. Цанев, С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. – М.: МЭИ, 2022. – 584 с.

2. Баринберг, Г.Д. Модернизация энергоблоков с паровыми теплофикационными турбинами / Г.Д. Баринберг, А.Е. Валамин, А.Ю. Култышев // Надежность и безопасность энергетики. – 2019, июнь. – № 2 (5). – С. 57-61.

3. Трояновский, Б.М. Энергетические паровые турбины / Б.М. Трояновский // Теплоэнергетика. – 2021. – № 11. – С. 2-16.

4. Ольховский, Г.Г. Перспективы тепловых электростанций / Г.Г. Ольховский // Электрические станции. – 2019. – № 1. – С. 8-17.

5. Цанев, С.В. Вопросы выбора параметров пара парогазовой установки с котлом-утилизатором одного давления / С.В. Цанев, В.Д. Буров, В.Е. Торожков // Электрические станции. – 2018. – № 2. – С. 9-18

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Айрат Ахметович Хасанов, Мадина Фаридовна Набиуллина  
Науч. рук. к.т.н., доцент Рустем Ренатович Вилданов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
Hasanov2015@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность применения альтернативных источников энергии в сфере ЖКХ, а именно выработка горячей воды для водоснабжения объекта при помощи гелиоколлектора.

**Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, солнечные коллекторы, гелиосистема, жилищно-коммунальное хозяйство, горячее водоснабжение.

## **USING SOLAR COLLECTORS TO PROVIDE HOT WATER SUPPLY**

Airat A. Hasanov, Madina F. Nabiullina  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
Hasanov2015@gmail.com

**Annotation.** The article discusses the possibility of using alternative energy sources in the housing and communal services sector, namely the production of hot water for the water supply of the facility using a heliocollector.

**Keywords:** alternative energy, solar collectors, solar collectors, housing and communal services, hot water supply.

Использование автономных или индивидуальных котельных подталкивает к использованию альтернативной энергетики для электро- и горячего водоснабжения в частном секторе и жилом фонде. Альтернативные источники энергии включают ветрогенераторы, панели солнечных батарей, гидроэлектростанции и т. д. [1].

В области ЖКХ возможно применение солнечных коллекторов (гелиоколлекторы). Данная климатическая установка не вырабатывает электроэнергию, а собирает, концентрирует и передает преобразованное тепло в систему отопления. Их главное преимущество – мобильность и компактность [2].

Одним из главных преимуществ солнечных коллекторов является возможность их установки на крыше домов и офисных зданий. Существуют различные виды солнечных коллекторов.

Плоские солнечные коллекторы. Главным элементом плоского солнечного коллектора является поглощающая поверхность, ориентированная на солнце. Покрытие поглощающей поверхности поглощает максимум солнца и отражает лишь малую часть энергии. Поглощенная энергия направляется на специальный хладагент, который циркулирует по трубам под абсорбером (поглотителем). К преимуществам плоских коллекторов можно отнести их небольшую стоимость и небольшие затраты на обслуживание и ремонт [3].



Рис. 1. Схема вакуумного солнечного коллектора

Вакуумные солнечные коллекторы (рисунок 1). Принцип работы вакуумных коллектор идентичен плоским, однако первые используют изолирующие свойства вакуума. Благодаря вакууму в стеклянных трубках потери энергии незначительны. Отражатель, установленный под трубками, фокусирует солнечные лучи на поглощающую трубку. [4].

При использовании зимой данный вид наиболее эффективен, так как благодаря вакуумной прослойке, тепло внутри трубок сохраняется даже в сильный мороз.

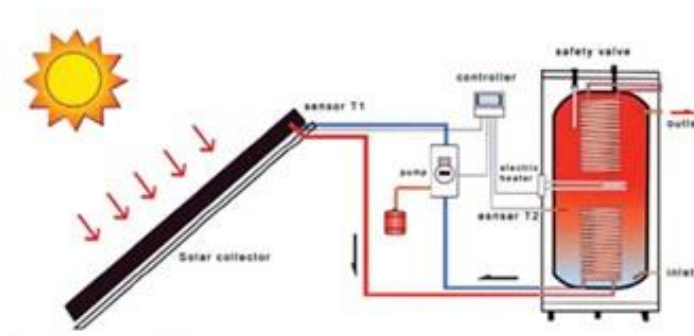


Рис. 2. Солнечный коллектор и бак аккумулятора с одним теплообменником

На рис.2 представлена схема подключения солнечного коллектора, устанавливаемого на крыше здания, и бака аккумулятора с одним теплообменником.

Таким образом, система с одним теплообменником наиболее эффективная и удобная для использования в России. С учетом того, что тарифы продолжают расти каждый день, то система содержащая один теплообменник может стать незаменимой частью частного дома. При текущей стоимости топлива для котла стоимость системы водяного отопления может окупиться через 2-3 года [5].

## Источники

1. Применение солнечной энергии для нужд горячего водоснабжения в городе Казань / Р. Д. Юсупов, Ш. Г. Зиганшин, Т. О. Политова, Э. Р. Базукова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 2(54). – С. 48-58. – EDN SRWKPL.

2. Набиуллина, М. Ф. Гибридные мини-ТЭС на биомассе и солнечной энергии как автономные источники тепла и электричества / М. Ф. Набиуллина // 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. 196-200. – EDN NNBJNQ.

3. Плоский солнечный коллектор SILA FPC1200D [Электронный ресурс]. URL: <https://e-solarpower.ru/solar-kollektors/solnechnye-kollektory/solnechnyy-kollektor-fpc1200d/> (Дата обращения 03.11.2023).

4. Вакуумные солнечные коллекторы для отопления и горячего водоснабжения [Электронный ресурс]. URL: <https://andi-grupp.ru/informatsiya/stati/vakuumnye-solnechnye-kollektory-dlya-otopleniya-i-goryachego-vodosnabzheniya/> (Дата обращения 03.11.2023).

5. Солнечный коллектор и бак аккумулятор с одним теплообменником AR-SPLIT-1 SPLIT-06 [Электронный ресурс]. URL: <https://arsolar.ru/solnechnye-kollektory/solnechnyj-kollektor-i-bak-akkumulyator-s-odnim-teploobmennik-6> (Дата обращения 03.11.2023).

УДК 644.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОТРУБНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ В RENGA И REVIT

Булат Рафикович Хисамиев

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

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

[bulathis24@gmail.com](mailto:bulathis24@gmail.com)

**Аннотация.** В статье обращается внимание на актуальное направление в области проектирования инженерных систем - моделирование однотрубных систем отопления в программах Renga и Revit. Обе программы предоставляют инженерам возможность создания детальных моделей трубопроводных систем, но при этом существуют различия в подходах и инструментах, а также каждый продукт имеет свои индивидуальные преимущества и ограничения при работе с такими системами.

**Ключевые слова:** однотрубная система отопления, моделирование, семейство, плагины.

## MODELING OF A SINGLE-PIPE HEATING SYSTEM IN RENGA AND REVIT

Bulat R. Khisamiev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[bulathis24@gmail.com](mailto:bulathis24@gmail.com)

**Abstract.** The article draws attention to the current direction in the field of engineering systems design - modeling of single-pipe heating systems in Renga and Revit programs. Both programs provide engineers with the opportunity to create detailed models of

pipeline systems, but there are differences in approaches and tools, and each product has its own individual advantages and limitations when working with such systems.

**Keywords:** single-tube heating system, modeling, family, plug-ins.

Однотрубная система отопления является одной из наиболее распространенных систем отопления в жилых и коммерческих зданиях. Она имеет ряд преимуществ, таких как экономичность, простота монтажа и эксплуатации. Однако построение такой системы в Renga и Revit может столкнуться с рядом проблем, которые необходимо учитывать при расчетах и проектировании.

Revit является мощным инструментом для проектирования и моделирования зданий. Однако, при работе с однотрубными системами отопления, программа может оказаться менее гибкой и функциональной. Однотрубные системы могут иметь сложную конфигурацию, с перекрестными трубами и разветвлениями, и моделирование таких систем в Revit может быть вызовом [1]. Недостаточная гибкость в построении и редактировании схемы трубопроводов может создавать трудности при создании точных моделей однотрубных систем. Кроме того, в Revit невозможны расчеты однотрубных систем. Данная программа имеет встроенные инструменты для расчета только двухтрубных систем отопления.

Расчеты однотрубных систем потребуют использования дополнительных плагинов и сложных настроек. Отсутствие специализированных инструментов для однотрубных систем оставляет пользователей на их собственные усмотрение и может потребовать дополнительного времени настройки.

Отечественная программа Renga предоставляет более простой интерфейс и доступность, но может иметь ограниченную интеграцию с другими программами и форматами данных [2]. Это может создавать сложности при обмене информацией между различными этапами проектирования или с другими участниками проекта. Ограниченная интеграция может усложнить совместную работу и обмен данными между специалистами, что может замедлить процесс проектирования.

К сожалению, Renga обычно предоставляет более ограниченный функционал по сравнению с Revit. В частности, при работе с однотрубными системами отопления, Renga может оказаться менее подходящим инструментом для моделирования и анализа. Это может ограничивать возможности инженеров при создании точных и сложных моделей однотрубных систем отопления.

Проектирование однотрубных систем отопления в программах Revit и Renga может представлять определенные сложности и ограничения. Пользователи сталкиваются с проблемами ограниченной гибкости моделирования, отсутствия специализированных инструментов (в случае Revit), ограниченной интеграции и ограниченного функционала (в случае Renga) [3].

Одним из подходов к расчетам однотрубных систем отопления в Revit может быть создание "невидимого" семейства, которое будет располагаться между подающим и обратным трубопроводами системы отопления. В Revit есть возможность создать расчет на основе плагина, чтобы по одной кнопке он начал рассчитывать всю систему отопления [4, 5]. Однако, стоит учесть создание некоего переходного семейства, чтобы расчет был произведен хотя бы приблизительно на основе ручного расчета. При этом расчеты однотрубной системы отопления могут быть интегрированы из электронных таблиц Excel.

В Renga нет расчетов двухтрубной системы, как и однотрубной. Данную проблему можно решить, как и с Revit: создать оборудование, которое будет "невидимым" на планах и 3D видах, но будет решать проблему в создании однотрубной системы отопления.

### **Источники**

1. Smart BIM в О и В. Информационное моделирование в отоплении и вентиляции = Smart BIM in HVAC. Information Modeling in Heating and Ventilation Systems: Учебно-методическое пособие для учебной и научной работы студентов направления «Строительство» (квалификация «магистр»). Изд. 2-е, перераб. и дополн. / А.М. Зиганшин, М.Г. Зиганшин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2019. – 349 с.

2. Хуснутдинова, А.Р., Зиганшин, М.Г. Цифровое информационное моделирование зданий на основе ПО REVIT И Renga / А.Р. Хуснутдинова, М. Г. Зиганшин // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : материалы VIII Национальной научно-практической конференции (Казань, 8–9 декабря 2022 г.). — Казань: Центр публикационной активности КГЭУ, 2023. — С. 453-455.

3. Знакомство с Renga / [Электронный ресурс] // Renga: [сайт]. — URL: <https://help.rengabim.com/ru/index.htm>

4. Талалаев Дмитрий, Муратов Вадим Руководство по работе с ADSK-шаблонами Revit 2021+ ОТ КОМПАНИИ BIM2B. Шаблон ОВ /



Талалаев Дмитрий, Муратов Вадим [Электронный ресурс] // РУКОВОДСТВО ПО РАБОТЕ С ADSK-ШАБЛОНАМИ REVIT : [сайт]. — URL: <https://cf34084.tmweb.ru/category/ov/> (дата обращения: 31.10.2023).

5. Стариченко Д.К., Бахтина И.А. Создание скрипта для семейства трубопроводов в Revit, при помощи визуального программирования Дупато / Стариченко Д.К., Бахтина И.А. // Ползуновский альманах. — 2023. — № 1. — С. 162-164.

УДК 621.039.5

## **ПРЕИМУЩЕСТА И ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ СМОЛЕНСКОЙ АЭС-2 С РЕАКТОРАМИ ВВЭР-ТОИ**

Денис Леонидович Черноголовый

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

deniss642004@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные причины замены выбывающих мощностей, недостатки старых блоков Смоленской АЭС, преимущества новых реакторов, а так же их основные характеристики.

**Ключевые слова:** водо-водяной энергетический реактор, реактор большой мощности канальный, типовой, оптимизированный, информатизированный, замещение.

## **ADVANTAGES AND PROSPECTS OF CONSTRUCTION OF THE SECOND STAGE OF THE SMOLENSK NPP-2 REACTORS WITH VVER-TOI REACTORS**

Denis L. Chernogolovyy

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

deniss642004@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the main reasons for the replacement of retiring capacities, the disadvantages of the old units of the Smolensk NPP, the advantages of new reactors, as well as their main characteristics.

**Key words:** water-water power reactor, high-power channel reactor, typical, optimized, computerized, substitution.

На данный момент идет активное замещение атомных станций с реакторами РБМК, на новые виды реакторов на базе ВВЭР. Одной из таких станций является Смоленская АЭС-2, с водо-водяными энергетическими реакторами, типа ТОИ (тепловой оптимизированный и информатизированный). Сами блоки типа РБМК являются устаревшими имеют ряд проблем, такие как распухание и растрескивание графитовой кладки из-за воздействия радиации после нескольких десятилетий эксплуатации [2], так же свою роль сыграла и трагедия в Чернобыле.

На данный момент Смоленская АЭС состоит из трех блоков РБМК-1000, которые уже подходят к концу эксплуатации, первый блок планируется выводить уже к 2027 году, в связи с этим на замену им нужно вводить новые блоки.

Срок службы реакторов типа РБМК всего 30 лет с возможностью продления до 45 лет, что связано с проблемой распухания графита в ходе эксплуатации [3], а так же его концепция является на данный момент устаревшей, ведь есть реакторы типа ВВЭР, которые во многом превосходят уран-графитовые реакторы. Главное преимущество водо-водяных энергетических реакторов - это наибольшая безопасность эксплуатации. Технологии этих реакторов постоянно модернизируются и совершенствуются, а так же в них отсутствует горючий графит в активной зоне [4], в то время, как в РБМК его содержится около двух тысяч тонн.

Именно поэтому на замену им появился проект строительства Смоленской АЭС-2 с реакторами ВВЭР-ТОИ. Это новейший тип реакторов, в котором сочетаются все преимущества более ранних моделей реакторов. Одним из главных преимуществ в сравнении со старыми реакторами РБМК-1000 является срок эксплуатации в 60 лет с возможностью продления срока службы корпуса еще на 40 лет. Так же в них присутствуют так называемые ловушки расплава. Они представляют собой герметичные ёмкости в виде стального конуса весом 144 тонны, под активной зоной реактора и заполненные специальным материалом, который в случае нештатной ситуации реагирует с расплавом активной зоны, в результате чего активная зона теряет часть тепла. Они так же рассчитаны на высокую сейсмическую активность. Так же в сравнении с РБМК в новой АЭС-2 будут присутствовать герметичные оболочки, которые в случае аварии не позволят выйти радиоактивности за пределы АЭС даже при разрушении корпуса реактора, в свою очередь реакторы РБМК этот защитный колпак не имеют, а его строительство невозможно за счет большой разветвленности труб [1].

Смоленская АЭС-2 будет состоять из двух энергоблоков ВВЭР-ТОИ с установленной мощностью 2400 МВт, с возможностью расширения до четырех блоков. Они за год способны вырабатывать 18 млрд. кВт·ч электроэнергии и отпускать 1,3 млн. Гкал тепловой энергии. Пуск в эксплуатацию первого блока планируется к 2032 году, а второго к 2034 году [1].

Аббревиатура ТОИ выбрана не случайно, по концепции эти реакторы должны быть:

Типизированными, то есть размещаться в регионах с различным климатом и сейсмической активностью, в зонах с риском торнадо, ураганов и наводнений без значительных изменений в конструкции и способных при этом соответствовать всем мерам безопасности.

Оптимизированными, то есть внедрение нововведений, которые способствуют выигрышу в эксплуатации реактора [5]. Так. Перекомпоновка зданий главного корпуса поспособствовала сокращению коммуникаций. Но самым главным серьезным оптимизационным решением является переход на схему параллельного расположения парогенераторов, что должно поспособствовать оптимизации процессов обслуживания и ремонта. Так же сокращено количество сварных соединений с шести до четырех – исключены сварные соединения в активной зоне. Это решение снижает радиационное воздействие на швы и улучшает эксплуатационные характеристики изделия [1].

Информатизированными, то есть в них применяются множество компьютерных технологий и систем управления, которые способствуют безопасности за счет более точного контроля.

## **Источники**

1. Официальный сайт «Росатом» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru> (дата обращения: 25.10.2023).

2. Конструкции ТВЭЛов, каналов и активных зон энергетических реакторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/SHARED/p/PETLINIV/education/Tab3/Tab/m126.pdf> (дата обращения: 25.10.2023).

3. Шелегов А.С., Лескин С.Т., Слободчук В.И. Физические особенности и конструкция Реактора РБМК-1000, 2007г.

4. Андрущечко С.А., Афров А.М., Украинцев В.Ф. и др. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта, М., «Логос», 2010.

5. Андриященко А.И., Аминов Р.З. Оптимизация режимов работы и параметров тепловых электростанций., 1983г.

УДК 621.039.56

## **БОРНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОДО-ВОДЯНЫХ РЕАКТОРОВ**

Ансель Ренатович Шаймарданов

Науч. рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин

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

ansel.shaymardanov@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассмотрено борное регулирование в водо-водяных реакторах. Выявлены основные причины использования бора в качестве регулятора реактивности реактора.

**Ключевые слова:** ядерный реактор, реактивность, борное регулирование.

## **BORON REGULATION OF WATER-WATER POWER REACTORS**

Ansel R. Shaimardanov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ansel.shaymardanov@gmail.com

**Abstract.** In this article boron regulation in water-water reactors is considered. The main reasons for the use of boron as a reactor reactivity regulator have been identified.

**Keywords:** nuclear reactor, reactivity, boron regulation.

Борное регулирование – способ регулирования реактивности водо-водяного реактора с помощью добавления борной кислоты ( $H_3BO_3$ ) [1] в теплоноситель первого контура.

При старте реакторной установки (РУ) в теплоносителе первого контура уже содержится борная кислота концентрацией 1,5 г/кг (для реактора ВВЭР-1000) [2].

В обычном режиме система борного регулирования, состоящая из насосов борного регулирования, баков для подготовки и хранения растворов борной кислоты, а также трубопроводов, функционирует так, что забор раствора ведется из емкости с концентрацией борной кислоты равной концентрации в теплоносителе первого контура. Это позволяет

восполнять потери концентрации при утечках теплоносителя, предусмотренных режимом нормальной эксплуатации.

Для уменьшения запаса величины оперативного запаса реактивности используется забор борной кислоты из емкости с концентрацией 40 г/кг.

Для увеличения величины оперативного запаса реактивности в теплоноситель первого контура поступает чистый дистиллят.

Применение бора обусловлено [3]:

— Хорошим сечением захвата тепловых нейтронов природным изотопом бора  $^{10}\text{B}$ , примерно 3820,5 барн [4].

— Мягкость воздействия бора на поток нейтронов в активной зоне (АЗ), иными словами, при его применении не происходит перекоса потока нейтронов и отсутствует неоднородность спектра энерговыделения.

— Возможность поддержания величины оперативного запаса реактивности в нужных пределах, что исключает возможность неуправляемого разгона реактора из-за ввода большой положительной реактивности по причине ошибок оперативного персонала.

Изменение концентрации борной кислоты в первом контуре во время эксплуатации:

Уравнение баланса кол-ва кислоты в условиях нормальной эксплуатации (расход утечек полностью восполняется расходом подпитки) выглядит следующим образом:

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{G_{\text{П}}}{\gamma \cdot V} [C(t) - C_{\text{П}}]. \quad (1)$$

$C_{\text{П}}$ , (г/кг) — концентрация борной кислоты в баке борного регулирования;

$G_{\text{П}}$ , (кг/с) — расход бора, который компенсирует система заливки первого контура;

$\gamma$  (кг/м<sup>3</sup>) — плотность теплоносителя первого контура;

$V$  (м<sup>3</sup>) — объем теплоносителя первого контура.

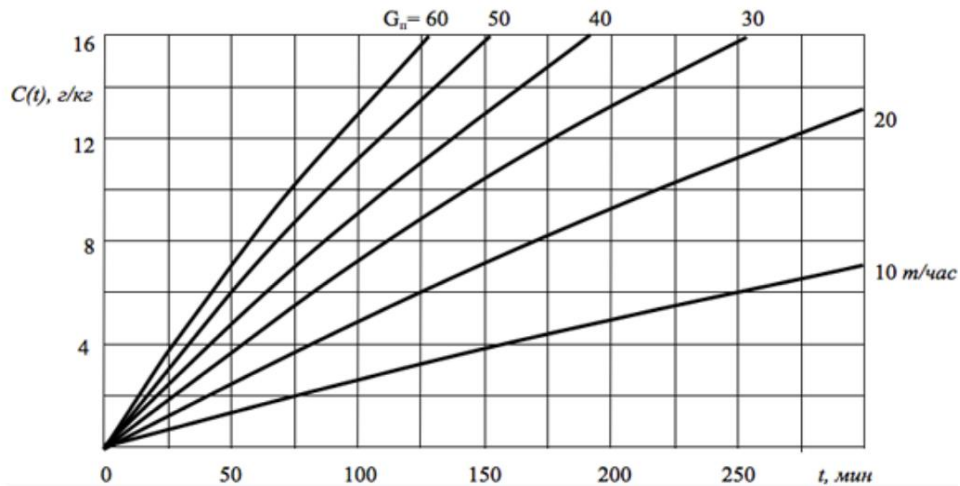
$t$  (с) — время водообмена;

$C$  (г/кг) — концентрация бороной кислоты в теплоносителе первого контура.

Рассмотрим решение уравнения, при условии, что в некоторый момент времени  $t=0$  концентрация бора была равна  $C_0$ :

$$C(t) = C_{II} - (C_{II} - C_0) \exp\left(-\frac{G_{II}}{\gamma \cdot V} t\right). \quad (2)$$

Основываясь на данном решении, составим график роста концентрации борной кислоты при начальном значении  $C_0=0$  (см. рисунок):



Рост концентрации борной кислоты в теплоносителе 1-го контура.

Из графика видно, что при начальном значении концентрации борной кислоты равном нулю, концентрация растёт со временем.

Таким образом, борное регулирование позволяет поддерживать нужную величину оперативного запаса реактивности в реакторе путем компенсации потерь концентрации борной кислоты в теплоносителе первого контура. Это позволяет “мягко” контролировать работу РУ.

### Источники

1. Рисованый В.Д., Захаров А.В., Клочков Е.П., Гусева Т.М. Бор в ядерной технике. 2-е изд., перераб. и доп. Димитровград: ОАО «ГНЦ НИИАР», 2011. 668 с.

2. Алексеев, Н. Н. Борное регулирование / Н. Н. Алексеев // Интеллектуальные энергосистемы: Материалы V Международного молодежного форума, Томск, 09–13 октября 2017 года. Том 2. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. – С. 79-82. – EDN OWPGXG.

3. Мерзликин Г.Я. Основы теории ядерных реакторов. Курс для эксплуатационного персонала АЭС. Севастополь: Севастопольский институт ядерной энергии и промышленности, 2001. 341 с.

4. Лебезов, А. А. Применение борной кислоты в водоохлаждаемых реакторах / А. А. Лебезов, Ю. А. Кузина, А. В. Морозов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2023. – № 2. – С. 146-165. – EDN JBKUQZ.

УДК 621.039.738

## ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ

Нур Айдарович Шайхутдинов

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

shaykhutdinov.nur@bk.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные идеи замкнутого ядерного топливного цикла. Рассмотрены основные технологии ЗЯТЦ, представлены основные преимущества замкнутого ядерного топливного цикла, и выявлены наиболее перспективные сферы его применения.

**Ключевые слова:** ЗЯТЦ, эффективность, топливо, технологии, развитие.

## CLOSED NUCLEAR FUEL CYCLE

Nur A. Shaykhutdinov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

shaykhutdinov.nur@bk.ru

**Abstract.** The article discusses the main ideas of the closed nuclear fuel cycle. The main technologies of the nuclear fuel cycle are considered, the main advantages of the closed nuclear fuel cycle are presented, and the most promising areas of its application are identified.

**Key words:** CFNC, efficiency, fuel, technology, development.

Замкнутый ядерный топливный цикл (ЗЯТЦ) - это концепция использования ядерной энергии, которая позволяет эффективно использовать ресурсы, снижает количество радиоактивных отходов и

повышает безопасность ядерной энергетики [1]. В этой статье мы рассмотрим основные принципы ЗЯТЦ и его преимущества.

Основная идея замкнутого ядерного топливного цикла состоит в повторном использовании отработанного ядерного топлива. В обычном ядерном топливном цикле, известном как открытый цикл или цикл типа "раздельных нагревателей", используется только около 1% энергии ядерного топлива. При этом большая часть ядерного топлива считается отходами и требует длительного и дорогостоящего хранения.

В ЗЯТЦ используется две основные технологии: воспроизводительный реактор (реактор с быстрыми нейтронами) и вторичные радиоактивные материалы. Воспроизводительный реактор способен производить новое ядерное топливо, путем превращения урана или тория в плутоний-239 [2]. Это позволяет повторно использовать отработанное ядерное топливо и добиться повышенной эффективности использования ресурсов.

Вторичные радиоактивные материалы, получаемые в результате переработки отработанного топлива, также могут быть использованы в качестве ядерного топлива. Они содержат значительное количество не расщепленных изотопов, которые могут быть дополнительно переработаны и использованы в реакторах. Таким образом, ЗЯТЦ позволяет извлечь максимальную энергию из каждого килограмма ядерного топлива.

Преимущества замкнутого ядерного топливного цикла очевидны. Во-первых, повторное использование ядерного топлива позволяет экономить огромные ресурсы урана и тория [3]. Это особенно важно в условиях ограниченности запасов природных ядерных топлив.

Во-вторых, ЗЯТЦ существенно снижает количество радиоактивных отходов. В отличие от открытого цикла, где большая часть ядерного топлива считается отходами, в замкнутом цикле отходы сжигаются или превращаются в более стабильные формы.

В-третьих, ЗЯТЦ позволяет улучшить безопасность ядерной энергетики [4]. Замкнутые ядерные реакторы обладают современными системами безопасности, способными предотвратить аварии или минимизировать их последствия. Благодаря эффективному использованию ядерного топлива, ЗЯТЦ снижает риски ядерных операций и сокращает необходимость хранения радиоактивных отходов.

Замкнутый ядерный топливный цикл представляет собой перспективный подход к эффективному использованию ядерной энергии. Он обещает увеличить ресурсную эффективность, снизить количество



радиоактивных отходов и повысить безопасность ядерной энергетики [5]. Поэтому дальнейшее исследование и развитие ЗЯТЦ являются важными задачами для нашего общества.

### **Источники**

1. Ядерный реактор для чайников: замыкание топливного цикла в двухкомпонентной ядерной энергетике [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/leader-id/articles/520580/> (дата обращения: 26.10.2023).

2. Замкнутый ядерный топливный цикл [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zamknutyu-yadernyyu-toplivnyu-tsikl> (дата обращения: 26.10.2023).

3. Замкнутый ядерный топливный цикл [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://postnauka.org/wtf/156666> (дата обращения 26.10.2023).

4. Разгадан секрет бесконечно возобновляемого источника энергии: замкнутый ядерный топливный цикл [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mk.ru/science/2022/11/30/razgadan-sekret-beskonechno-vozobnovlyаемого-istochnika-energii-zamknutyu-yadernyyu-toplivnyu-cikl.html> (дата обращения 06.10.2023).

5. Последняя надежда человечества - Замкнутый Ядерный Топливный Цикл! [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dzen.ru/a/XfFmxjSAggCvliqt> (дата обращения 14.07.2023).

УДК 621.039.534

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕАКТОРОВ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ ИЗ ЖИДКИХ МЕТАЛЛОВ**

Ирек Басирович Шомахмадов

Науч. Рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
[masudshomakhmadov@gmail.com](mailto:masudshomakhmadov@gmail.com)

**Аннотация.** В статье приводится описание реакторов с теплоносителем из жидких металлов, а также возможные пути развития данной отрасли.

**Ключевые слова.** теплоноситель, металлы, реактор на быстрых нейтронах, ядерная энергетика.

# PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF REACTORS WITH LIQUID METAL COOLANT

Irek B. Shomakhmadov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
masudshomakhmadov@gmail.com

**Abstract.** The article describes reactors with a coolant made of liquid metals, as well as possible ways of development of this industry.

**Keywords.** coolant, metals, fast neutron reactor, nuclear power.

В наши дни активно развивается сфера реакторов с жидкометаллическим теплоносителями. На данный момент существует несколько типов подобных реакторов. Их самым известным представителем является реактор на быстрых нейтронах, в котором в качестве теплоносителя используется жидкий натрий. Также сооружается быстрый реактор естественной безопасности со свинцовым Теплоносителем. Однако теплоносителями могут являться и другие металлы.

В качестве теплоносителя могут использоваться такие металлы как калий, литий, ртуть, олово, висмут, цезий, галлий, рубидий, индий, теллур, таллий. В таблице 1 представлены характеристики вышеперечисленных веществ [1].

Таблица 1.

Характеристики металлов

Металл	Температура плавления °С	Температура кипения °С
Литий (Li)	182±2,5	1350
Натрий (Na)	98±0,2	882±5
Калий (K)	63,8±0,2	760±1
Ртуть (Hg)	-38,7±0,03	357,1±0,2
Олово (Sn)	232±0,2	2267±10
Свинец (Pb)	327,5±0,2	1750±10
Висмут (Bi)	271,2±0,3	1427±30
Цезий (Cs)	28,5±0,4	697±10
Галлий (Ga)	29±0,1	1977±10
Рубидий (Rb)	39±0,5	688±5
Индий (In)	156	1950 - 2100
Теллур (Te)	450	1390
Таллий (Tl)	303±4	1457±50

На рисунке представлен электрохимический ряд напряжений.



#### Ряд активности металлов

Исходя из вышеописанных параметров металлов можно сказать, что наиболее подходящими новыми материалами для их применения как теплоносителя являются висмут и олово. Выбор обусловлен их температурами плавления и кипения, т.к. они позволяют металлам находиться в жидком агрегатном состоянии при температурах теплоносителя в существующих реакторах на быстрых нейтронах, которые составляют около 550 °С [2]. Однако этой температуры недостаточно для кипения материала, что исключает возможность образования снарядного или дисперсно-кольцевого кипения вместо пузырькового кипения, свойственного номинальному режиму работы [3]. Снарядный режим кипения является неустойчивым и приводит к нестабильности теплообмена в активной зоне, что может привести к кризису теплообмена [4]. Кризис теплообмена – это уплотнение теплового потока поверхности, веществом-теплоносителем, что способно создать внезапный рост температуры [5]. Предотвращение возможности образования кризиса теплообмена исключает риск расплавления топливных элементов.

Другим критерием выбора вышеуказанных материалов является их относительно малая химическая активность (см. рисунок). Следовательно риск их взаимодействия с конструкционными материалами будет уменьшаться.

Таким образом, наиболее перспективными путями развития реакторов с теплоносителями из жидкого металла являются реакторы с теплоносителем из висмута и олово, ввиду их термических и химических свойств.

#### Источники

1. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Справочник. - Москва: Атомиздат, 1968. - 484 с.; 21 см.- Текст: непосредственный.
2. Гришко Д. В. Влияние вида топлива на нейтронно-физические характеристики реактора БН-800 : дипломный проект / Д. В. Гришко ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет

(ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ), Кафедра атомных и тепловых электростанций (АТЭС) ; науч. рук. А. В. Кузьмин. — Томск, 2016.

3. Сорокин Г.А. Моделирование теплообмена при кипении жидкометаллического теплоносителя в режиме аварийного расхолаживания в реакторах на быстрых нейтронах : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.14.03 / Обн. гос. техн. ун-т атом. энергетики. - Обнинск, 2007. - 20 с.

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.

5. Кириллов П.Л. Кризис теплообмена при кипении в каналах: Сборник статей / Под ред. чл.-кор. АН СССР В. И. Субботина, д-ра техн. наук П. Л. Кириллова ; Физ.-энерг. ин-т. - Обнинск : [б. и.], 1974. - 240 с. : ил.; 20 см.- Текст: непосредственный.

УДК 621.039.7

## **ПРИЧИНЫ И СЛОЖНОСТИ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ УРАН-ГРАФИТОВЫХ РЕАКТОРОВ**

Егор Вячеславович Шубенков <sup>1</sup>

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

<sup>1</sup>corvega921@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлена главная причина вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов типа РБМК, а также рассмотрена основная проблема демонтажа ядерной установки, связанная с утилизацией графита.

**Ключевые слова:** РБМК, Уран-графитовые ядерные реакторы, радиоактивные отходы, радиоактивный графит.

## **REASONS AND DIFFICULTIES OF DECOMMISSIONING OF URANIUM-GRAPHITE REACTORS**

Egor V. Shubenkov <sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>corvega921@mail.ru

**Abstract.** The article presents the main reason for the decommissioning of RBMK-type uranium-graphite reactors, and also considers the main problem of dismantling a nuclear installation associated with the utilization of graphite.

**Keywords:** LWGR, Uranium-graphite nuclear reactors, radioactive waste, radioactive graphite.

В настоящее время в России остались 11 реакторов типа РБМК, проектный срок эксплуатации которых был рассчитан на 30 лет. Путём модернизации установки, срок продлили на 15 лет. К 2035 году истечёт уже продлённый срок эксплуатации последнего энергоблока и их дальнейшее использование является невозможным по соображениям норм безопасности.

В связи с выработкой ресурса реакторов был начат их вывод из эксплуатации. В 2018 году был остановлен первый энергоблок Ленинградской АЭС, а в 2020 году, второй энергоблок [1].

В Росэнергоатом решили для вывода из эксплуатации блоков РБМК использовать метод ликвидации ядерных и радиационно-опасных объектов. Он предусматривает дезактивацию сооружений и оборудования до приемлемого уровня, демонтаж всего оборудования и удаление всех радиоактивных отходов с территории площадки. Такой метод не только является наиболее быстрым и экологически безопасным, но и самым сложным в плане реализации [2].

Основная сложность реализации такого метода является обращение с радиоактивным графитом. Его можно разделить на две основные группы - конструкционный графит, из которого выполнена кладка реактора и графит, с частичками продуктов деления и ядерного топлива. При использовании графитовой кладки в реакторе, в ней идёт накопление  $^{14}\text{C}$  - радиоактивного нуклида химического элемента углерода, который имеет период полураспада примерно 5700 лет. Также в графитовой кладке содержатся элементы Хлора – 36, полураспад которого 300 тыс. лет. Удельная активность облучённого конструкционного графита составляет от 3-6 Ки/т до 25-100 Ки/т по  $^{14}\text{C}$ . Удельную активность графита второй группы измерить невозможно из-за неравномерного распределения продуктов деления, но мощность гамма излучения некоторых фрагментов может достигать до 60000 мкР/с на расстоянии 0,5 м [3].

В настоящее время, технологии по его переработке и утилизации нет не только в России, но и за рубежом. Из-за огромного периода полураспада некоторых элементов в кладке, использование пассивных методов захоронения являются не экологичными. Захоронение реактора под слоем

бетонитовой глины, как это было сделано с реактором ЭИ - 2 в Северске, в 2015 году, является затруднительным в связи с тем, что РБМК поднят над землёй на несколько метров и по размерам в четыре раза больше ЭИ-2 [4]. Предлагался вариант сжигания графитовой кладки, но в процессе горения образуется большое количество радиоактивного углекислого газа, который нужно будет уловить и перевести в безопасное состояние. Однако при таком методе, масса радиоактивных отходов увеличится. Также при сжигании выделяется хлор-36, оборудование для улавливания, которого очень дорогое.

В конечном итоге в Росэнергоатом решили сначала фрагментировать, а затем разместить графит на хранение в специальный могильник. И хотя пока могильника для радиоактивных отходов 2 класса опасности, к коим относится реакторный графит, в России пока не существует, по предположениям экспертов к разборке графита дело дойдёт лишь к 2040 году [5].

### **Источники**

1. Инженерно-экологические особенности вывода из эксплуатации ПУГР и исследовательских установок [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/inzhenerno-ekologicheskie-osobennosti-vyvoda-iz-ekspluatatsii-promyshlennyh-uran-grafitovyh-yadernyh-reaktorov-i-issledovatel'skih/viewer> (Дата обращения: 25 09 2023).

2. Как будут ликвидировать остановленные реакторы РБМК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru/2021/08/31/kak-budut-likvidirovat-ostanovlenn> (Дата обращения: 25 09 2023).

3. Концепции обращения с реакторным графитом выводимых из эксплуатации УГР [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2016/06/08/66585> (Дата обращения: 25 09 2023).

4. Обращение с графитом при выводе из эксплуатации реакторов РБМК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/SMI/2020/03/26/102446> (Дата обращения: 25 09 2023).

5. Опыт вывода из эксплуатации промышленного уран-графитового реактора ЭИ – 2 АО «ОДЦ УГР» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/32525/1/conference\\_tpu-2016-C33\\_p508-512.pdf](https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/32525/1/conference_tpu-2016-C33_p508-512.pdf) (Дата обращения: 25 09 2023).

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТАБЛЕТОК ДИОКСИДА УРАНА, МАТЕРИАЛЫ ОБОЛОЧЕК ТВЭЛОВ, КОНСТРУКЦИЯ ТВЭЛОВ

Булат Радикович Ямалов

Науч. рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
yamalovbulat720@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье описана технология производства таблеток диоксида урана. Рассмотрены материалы оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) и их основные преимущества и недостатки. Рассмотрена конструкция самых распространенных ТВЭЛ.

**Ключевые слова:** диоксид урана, тепловыделяющий элемент, оболочка, цирконий, конструкция ТВЭЛ.

## PRODUCTION OF URANIUM DIOXIDE PELLETS, FUEL ROD CLADDING MATERIALS, FUEL ROD DESIGN

Bulat R. Yamalov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
yamalovbulat720@mail.ru

**Abstract.** This article describes the technology for the production of uranium dioxide tablets. The materials of cladding of fuel elements (fuel elements) and their main advantages and disadvantages are considered. The design of the most common fuel rods is considered.

**Keywords:** uranium dioxide, fuel element, cladding, zirconium, fuel rod design.

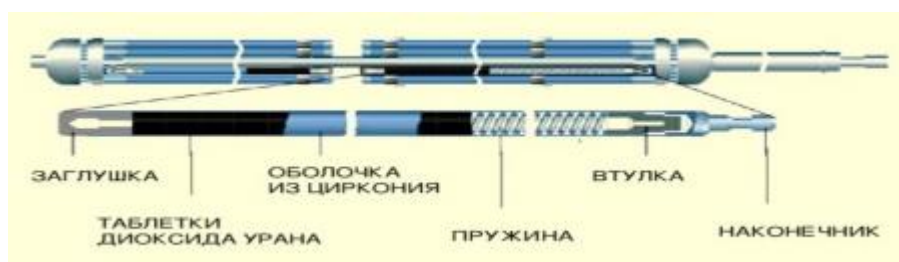
Изготовление тепловыделяющих элементов начинается с добычи урана. Затем руду измельчают и растворяют в серной кислоте. Полученный раствор фильтруют, сушат и получают концентрат оксида урана. Его конверсируют в гексафторид, тем самым превращая его в газ. Он подается в центрифуги, в которых  $U^{235}$  отделяется от более тяжелого  $U^{238}$ . В обогащенном потоке концентрация  $U^{235}$  достигает 3–5%. Далее обогащенный уран перерабатывается в порошок диоксида урана, который прессуют в цилиндрические таблетки и спекают [1].

Затем таблетки помещают в тонкие трубки - тепловыделяющие элементы. Оболочка трубы находится в жестких условиях, в среде

химического и механического воздействия. Основные требования к оболочке: Высокая теплопроводность, коррозионная стойкость, стабильность формы, малое сечение поглощения нейтронов [2].

В настоящее время используют несколько видов материалов для изготовления оболочек, самые распространённые из них: 1) Циркониевые оболочки имеют малое сечение поглощения тепловых нейтронов, но обладает низкой прочностью при температуре выше  $360^{\circ}\text{C}$ , поэтому данный материал широко применяется в водо-водяных реакторах на тепловых нейтронах. 2) Нержавеющая хромоникелевая аустенитовая сталь имеет высокую жаропрочность, однако имеет большое сечение поглощения нейтронов, что отрицательно влияет на экономику нейтронов в активной зоне. Данный тип оболочек используют в реакторах на быстрых нейтронах, в таком случае используют более обогащенный уран. 3) Так же используют сплавы циркония с тугоплавкими металлами такими как ниобий, вольфрам, тантал. Такие оболочки могут выдержать до  $500^{\circ}\text{C}$ , но имеют увеличенное сечение поглощения нейтронов [3].

ТВЭЛ может имеет различные формы, но самый распространёнными являются стержневые (см. рисунок), из-за своей устойчивости к механическому воздействию.



Конструкция стержневого ТВЭЛа

Трубки (оболочки) заполняются таблетками, которые фиксируются пружиной. В свою очередь пружина закреплена втулкой. Далее из трубки выкачивают воздух и закачивают гелий, для лучшей теплопроводности и компенсации внешнего давления. Трубку заваривают концевыми деталями и соединяют в тепловыделяющие сборки (ТВС) [4].

Иностранные твэлы отличаются тем, что таблетки сделаны из низкообогащенного урана и вместо гелия трубки заполняются монооксидом углерода. Также в циркониевые сплавы добавляют меньше олова, но больше меди, ванадия или хрома [5].

ТВЭЛ – является одним из важных частей реактора, который требует жесткого контроля на всех этапах его изготовления. Ее параметры



изменчивы и индивидуальны практически для каждого вида реакторов, что усложняет ее производство.

### **Источники**

1. Колпаков, Г. Н. Конструкции твэлов, каналов и активных зон энергетических реакторов : учебное пособие / Г. Н. Колпаков, О. В. Селиваникова. — Томск : ТПУ, 2009. — 118 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/10265> (дата обращения: 28.10.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Ядерное топливо и его изготовление: электронная ассоциация.- URL: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/fuel-fabrication.aspx> (дата обращения: 28.10.2023). Текс-электронный

3. 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://prior.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785383014479.html> (дата обращения: 28.10.2023). - Режим доступа: по подписке.

4. Технология производства твэлов: платформа материалов. - URL: <https://pandia.ru/text/79/274/16564.php> (дата обращения 28.10.2023) Текс-электронный.

5. Самойлов А. Г. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов: учебное пособие / А. Г. Самойлова; МИФИ.- Москва. 2014.- 400с.- ISBN 5-283-03622-7.

УДК 621.039.9

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЛАВУЧИХ АТОМНЫХ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РОССИИ**

Виктория Алексеевна Яркова

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент Ринат Нургалиевич Закиров

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

[viktoriyshka10@gmail.com](mailto:viktoriyshka10@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассматривается плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» как инновационный и перспективный проект в области развития атомной энергетики. Подчеркивается потенциал ПАТЭС в развитии энергетической инфраструктуры и обеспечении устойчивого энергетического будущего

для регионов России, которым сложно осуществить подключение к традиционным сетям энергоснабжения.

**Ключевые слова:** централизованное энергоснабжение, плавучая атомная теплоэлектростанция, плавучий энергоблок, удаленные регионы, северные регионы.

## PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF FLOATING NUCLEAR THERMAL POWER PLANTS IN RUSSIA

Victoria A. Yarkova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

viktoryshka10@gmail.com

**Abstract.** The article considers the floating nuclear power plant "Academician Lomonosov" as an innovative and promising project in the field of nuclear energy development. The potential of the NPP in the development of energy infrastructure and ensuring a sustainable energy future for the regions of Russia, which find it difficult to connect to traditional energy supply networks, is emphasized.

**Keywords:** centralized power supply, floating nuclear power plant, floating power unit, remote regions, northern regions.

Плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» — первая в мире плавучая атомная станция, представляющая собой новый класс энергоисточников на базе российских технологий атомного судостроения. Она расположена в порту города Певек, Чукотский автономный округ.

ПАТЭС «Академик Ломоносов» является проектом АО «Концерн Росэнергоатом» при участии ФГУП «Атомфлот». Станция была построена предприятием ООО «Балтийский завод – Судостроение» в Санкт-Петербурге. Проект реализовывался с 2007 года; первая ПАТЭС серии сдана в промышленную эксплуатацию 22 мая 2020 года [1].

Плавучий энергоблок (ПЭБ) «Академик Ломоносов», предлагаемый для энергообеспечения крупных промышленных предприятий, портовых городов, комплексов по добыче и переработке нефти и газа на шельфе морей, создан на базе серийной энергетической установки атомных ледоколов, проверенной в течение их длительной эксплуатации в Арктике. Он оснащен двумя реакторными установками КЛТ-40С [2]. Каждый реактор способен обеспечивать в номинальном режиме выдачу в береговые сети 35 МВт электроэнергии и до 25 Гкал/ч тепловой энергии для нагрева теплофикационной воды [3].

ПАТЭС «Академик Ломоносов» является пилотным проектом, который может быть реализован в других регионах России и мира. Идея плавучих атомных электростанций- электрификация и снабжение теплом труднодоступных регионов, в которых особенно сложно поддерживать эксплуатацию и обслуживание традиционных источников энергии.

Плавучие атомные станции обладают рядом преимуществ, которые делают их привлекательными для размещения в отдалённых районах, где строительство традиционных атомных электростанций затруднено или невозможно. К таким регионам относятся: Северные регионы России, характеризующиеся суровыми климатическими условиями; Островные государства, нуждающиеся в надёжном источнике электроэнергии; Развивающиеся государства, находящиеся в процессе экономического, социального и политического развития.

Проблематика энергосистемы северной части Российской Федерации связана с ее уникальными географическими и климатическими особенностями. Суровый климат, удаленность, рассредоточение населения затрудняют подключение к энергосистеме и создают серьезные препятствия для устойчивого развития энергетической инфраструктуры [4].

В условиях Крайнего Севера перспективным вариантом является строительство ПАТЭС. Принципиальные преимущества заключаются в компактной форме отходов и отсутствии выбросов продуктов сгорания. Плавучие атомные станции, выполненные в форме баржи, легко перегоняются в места, где есть потребность в электричестве и горячей воде.

Первоочередными проектами строительства ПАТЭС в России для энергоснабжения новых промышленных объектов и городов, расположенных в труднодоступных районах, являются: Арктические города, такие как Мурманск, Архангельск, Норильск, Воркута, Якутск, Магадан; Города на побережье Северного Ледовитого океана, такие как Тикси, Диксон, Сабетта, Новый Порт; Города на Дальнем Востоке, такие как Владивосток, Петропавловск-Камчатский, Магадан.

Перспективным решением совершенствования технических характеристик ПАТЭС и атомной энергетики России в целом является замещение реактора КЛТ-40С реакторами РИТМ-200 и РИТМ-400. Они позволяют повысить надежность и безопасность плавучего энергоблока, а также увеличить его мощность и эффективность. Для полной оценки осуществимости и реализации предложенной замены необходимы дальнейшие исследования и оценки.

Таким образом, плавучие атомные электростанции (ПАТЭС) предлагают жизнеспособное решение для обеспечения чистой и надежной

электроэнергией недоступных районов [5]. Успешная эксплуатация «Академика Ломоносова» продемонстрировала осуществимость и безопасность подобных проектов, открыв путь для дальнейшего развертывания и технологического прогресса. При тщательном планировании и ответственной реализации эти мобильные электростанции могут внести существенный вклад в энергетическую диверсификацию и общее развитие России.

### **Источники**

1. В.В. Петрунин, С.А. Фатеев, А.В. Кураченко, Д.В. Щекин. Научно-технические и экономические аспекты создания инновационных реакторных установок для атомных станций малой и средней мощности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vniitf.ru/data/ZST2023/res/plenary/01pl.pdf> (дата обращения: 28.09.2023).

2. Атомные станции малой мощности и плавучие АЭС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ibrae.ac.ru/contents/365/> (дата обращения: 28.09.2023).

3. ПАТЭС. Опыт сооружения и эксплуатации от «Росатом» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nsrus.ru/files/ks131022/Vystavkin.pdf> (дата обращения 28.09.2023).

4. Рыльский В.А., Антоненко Г.В. Основные проблемы энергоснабжения районов Севера // сб. «Проблемы Севера», вып. 22. М., «Наука», 1986, стр. 86-93.

5. Преимущества атомной энергетики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosatom.ru/about-nuclear-industry/preimushchestva-atomnoy-energetiki/> (дата обращения 06.10.2023).

УДК 621.039.9

## **ОПРЕСНЕНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Яна Эдуардовна Ярошевич

Науч. рук. ст. преп. Руслан Владимирович Бускин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
[yanayaroshevish1@gmail.com](mailto:yanayaroshevish1@gmail.com)

**Аннотация.** В данной работе приведены результаты исследований по опреснению морской воды с помощью ядерных технологий, а также представлены другие методы по получению пресной воды.

**Ключевые слова:** опреснительные установки, ядерная энергетика, атомные электростанции, реактор, энергия.

## **DESALINATION OF SEAWATER USING NUCLEAR POWER**

Yana E. Yaroshevich

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

yanayaroshevish1@gmail.com

**Abstract.** This paper presents the results of research on the desalination of seawater using nuclear technology, and other methods for obtaining fresh water are also presented.

**Keywords:** desalination plants, nuclear energy, nuclear power plants, reactor, energy.

В настоящее время во многих районах мира существует проблема нехватки водных ресурсов. Требуются большие объемы воды для удовлетворений промышленных, хозяйственных и сельскохозяйственных потребностей. Особенно остро проблема водоснабжения стоит в нефтедобывающих странах, которые продолжают осуществлять крупные капиталовложения и предпринимать еще больше усилий по дальнейшей индустриализации своей экономики. В то же время увеличивается спрос на чистую питьевую воду, а именно в районах с быстрым ростом населения.

От дефицита пресной воды страдает более 40% населения. А территория аридных и засушливых мест составляет около 60% всей поверхности земной суши. Этот дефицит может быть покрыт опреснением океанических, морских и подземных вод, запасы которых составляют 97% всей воды на земном шаре [1]. В данной статье мы рассмотрим ряд методов и перспектив для решения этой проблемы. Существуют различные способы опреснения морской воды, например: дистилляция, ионный обмен, обратный осмос, сепарация и много других методов. Однако изучая данную проблему, я пришла к выводу, что в настоящее время для решения этого вопроса лучше всего подойдет использование атомной электрической станции (АЭС). Привлекательность опреснения с использованием ядерной энергии в сравнении с обычными методами связана по нескольким причинам. В их число входят, например, экономическая конкурентоспособность, недостаток водной и ветровой энергии, сохранение ресурсов ископаемого топлива, разработка новых

технологий и их внедрение в деятельность, а также защита окружающей среды, потому что ядерная энергия позволяет избежать выбросов в атмосферу веществ — парниковых газов и загрязнителей воздуха [2]. Атомные сооружения являются одним из источников энергии для опреснительных производств (ОП) и опреснительных установок (ОУ). В системах атомного опреснения рассчитывается использование ядерных реакторов. Здесь есть два варианта. Первый вариант – ОУ присоединяется к стандартной АЭС с использованием производимой ею тепловой и электрической (в виде горячей воды и пара) энергии. Вторым вариантом – специализированный опреснительный многоцелевой атомный комплекс (МАК), который предназначен специально для одновременного производства электрической энергии, теплоснабжения и производства пресной воды из морской [4].

Сравним две технологии по опреснению воды: обратный осмос (RO) и при помощи ядерных технологий. По словам группы ученых, на данный момент обратный осмос является достаточно дорогостоящим процессом по опреснению воды, в частности для него необходимо сложное оборудование (например насосы) для создания высокого давления и большой расход энергии. Ученые подсчитали баланс для RO, в который вошли такие расходы, как расходы на техническое обслуживание, инвестиционные расходы, расходы на опреснение до требуемой чистоты и т.д. Самым большим и важным в этих расходах являются затраты, связанные с оплатой энергии. Для технологии обратного осмоса их доля составляет от 35 до 45%. Так же учитываем, что повышенные энергетические затраты приводят к загрязнению окружающей среды (например, выбросы парниковых газов) [3]. Таким образом на данный момент времени АЭС обходит RO по всем пунктам.

У атомных электрических станций есть ряд серьезных недостатков, в число которых входит потенциальная опасность аварий и выбросов радиоактивных веществ в атмосферу. В то же время опыт эксплуатации АЭС в мире показывает значительные достижения в области повышения безопасности. Специалисты, проводящие вероятностный анализ безопасности (ВАБ), основанный на статистике эксплуатации АЭС в мире начиная со времен «рождения» атомной энергетики (1954 г.-1955 г.) и заканчивая актуальными (и будущими) проектами АЭС, утверждают, что наблюдается устойчивая динамика снижения вероятности тяжелых аварий на атомных электрических станциях [4]. Уровень безопасности современных АЭС соответствует вероятности не более одной тяжелой аварии в мире в течение 50 лет [4].

В итоге рассмотрения данного вопроса можно прийти к тому, что использование ядерной энергии для опреснения морской воды в настоящий момент времени является целесообразным и перспективным, так как позволит человечеству обеспечить себя необходимым количеством питьевой воды, и воды для орошения земель в сельском хозяйстве.

### **Источники**

1. ОмскГидроСтрой [Электронный ресурс] <http://omskgidro.ru/zapasy-presnoy-vody.html> (дата обращения: 26.10.2023).
2. Мохамед эль-Баради «Бюллетень МАГАТЭ» [Электронный ресурс] [https://www.iaea.org/sites/default/files/39205982629\\_ru.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/39205982629_ru.pdf) (дата обращения 27.10.2023).
3. Фильтры для воды [Электронный ресурс] <https://filtersforwater.ru/news/opresnenie-vody-s-romoschu-yadernoy-energii.html> (дата обращения: 27.10.2023).
4. Е.Д.Федорович, С.С.Макухин, Е.А.Соколова, Газаи Сейд Хади, Садеги Хашаяр «Крупнотоннажное опреснение воды с использованием атомного энергоисточника» [Электронный ресурс] <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=9274> (дата обращения: 28.10.2023).

## Секция 2. Промышленная теплоэнергетика. Эксплуатация и надежность энергоустановок и систем теплоснабжения

УДК 620.9

### ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЕВЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Тимербулат Радмирович Абдуллин

Науч. рук. к.т.н. Александр Евгеньевич Кондратьев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
a@luftgaller.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены причины использования аэрогелевой композитной теплоизоляции, как замена традиционному базальтовому волокну. Представлены и проанализированы результаты моделирования теплоизоляционных материалов и проведены расчёты, дополняющие результаты моделирования с целью обоснования эффективности аэрогелевого волокна, как инновационного теплоизоляционного материала.

**Ключевые слова:** аэрогель, волокно, теплоизоляция, моделирование, базальтовое волокно, comsol.

### THE FEASIBILITY OF USING THERMAL INSULATION BASED ON AEROGEL COMPOSITES AT ENERGY FACILITIES

Timerbulat R. Abdullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
a@luftgaller.ru

**Abstract.** The article discusses the reasons for using aerogel composite thermal insulation as a replacement for traditional basalt fiber. The results of modeling thermal insulation materials are presented and analyzed, and calculations are carried out that complement the results of modeling in order to substantiate the effectiveness of aerogel fiber as an innovative thermal insulation material.

**Keywords:** aerogel, fiber, thermal insulation, modeling, basalt fiber, comsol.

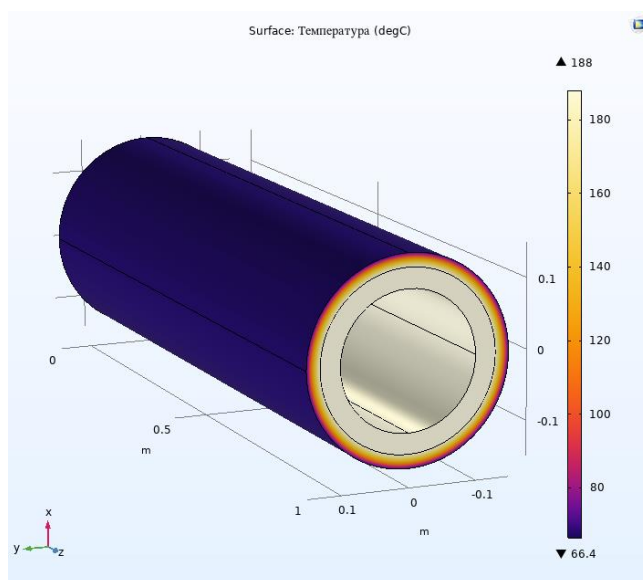
Актуальность использования каких-либо мер энергосбережения растёт с каждым годом по всему миру. Эксплуатация традиционных



теплоизоляционных материалов становится менее выгодным и эффективным из-за постоянных повышений требований к тепловым потерям. В таком случае, использование современных композитных теплоизоляционных материалов становится более целесообразным, к тому же, помимо меньшего коэффициента теплопроводности, уменьшается толщина и увеличивается срок службы теплоизоляционного слоя.

Предметом исследования был выбран инновационный композитный теплоизоляционный материал – аэрогель [1].

С помощью программного комплекса для моделирования процессов COMSOL Multiphysics смоделирован участок трубопровода с аэрогелевой теплоизоляцией в виде волокна:



Распределение температур в аэрогеле на трубопроводе

Температура греющего трубопровода: 188 °С, температура на поверхности теплоизоляции: 66 °С, температура наружного воздуха (в помещении): 48 °С

Для проверки результатов моделирования проводится расчёт требуемой толщины тепловой изоляции, от обратного, имея температуру на поверхности, как требуемую [2].

Расчет требуемой толщины теплоизоляционного слоя по необходимой температуре наружной поверхности проводится по примеру из "СП 61.13330.2012.

Определение толщины теплоизоляции по необходимой температуре наружной поверхности  $t_{\text{н}}$  производится в случае, если изоляция необходима для предохранения персонала от ожогов.

Расчет толщины тепловой изоляции выполняется по формулам:

$$\ln B = \ln \frac{d_{\text{H}}^{\text{CT}} + 2\delta_{\text{ИЗ}}}{d_{\text{H}}^{\text{CT}}} = 2\pi\lambda_{\text{ИЗ}}R_{\text{H}}L \frac{t_{\text{В}} - t_{\text{П}}}{t_{\text{П}} - t_{\text{Н}}}, \quad (1)$$

Рассмотренный метод является приближённым. Максимально точные результаты могут быть получены с помощью последовательных приближений [3].

В результате расчётов получаем около 10 мм толщины аэрогелевой теплоизоляции при данных в моделировании температурах.

Базальтовое волокно при данных температурах требует 140 мм толщины слоя, что отрицательно сказывается на габаритных размерах и удобстве монтажа, помимо более лучших свойств аэрогеля [4], таких как срок эксплуатации, гидрофобность и устойчивость к погодным условиям [5].

### **Источники**

1. Базукова, Э. Р. Повышение эффективности энергетических комплексов применением тепловой изоляции со стабильными характеристиками : специальность 2.4.5 - Энергетические системы и комплексы : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Базукова Эльвира Раисовна. – Казань, 2022. – 190 с.

2. 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 . – Нижний Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2023. – С. 116-117. – ISBN 978-5-502-01735-0

3. Базукова, Э. Р. Экономический эффект вариантов тепловой защиты трубопроводов энергетических комплексов / Э. Р. Базукова, Ю. В. Ваньков, Р. А. Пономарев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 4(56). – С. 103-112. – EDN WPZRLD.

4. Абдуллин, Т. Р. Использование аэрогелевых композитов как теплоизоляция на объектах промышленной энергетики / Т. Р. Абдуллин // 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. 338-340. – EDN TXUKVJ.

5. 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

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Роман Николаевич Александров

Науч. рук. к.т.н. доц. Айрат Рифкатович Загретдинов

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

rgtv.ww@gmail.com

**Аннотация.** Проведено трехмерное расчетное исследование потока и сравнение с данными, полученными при проведении эксперимента. Сравнение ведется по расходу.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, расход, трубопровод, Ansys Fluent.

## MODELING OF FLUID FLOW IN THE ANSYS SOFTWARE PACKAGE

Roman N. Alexandrov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

rgtv.ww@gmail.com

**Abstract.** A three-dimensional computational study of the flow was carried out and compared with the data obtained during the experiment. The comparison is conducted by consumption.

**Keywords:** mathematical modeling, flow, pipeline, Ansys Fluent.

В данной работе проводится исследование потока жидкости в трубопроводе при помощи метода конечных элементов.

Можно выделить несколько способов исследования, позволяющие определить характеристики потока, к которым можно отнести:

экспериментальный способ, вычисление данных на основе формул и математическое моделирование в программном комплексе [1].

С помощью экспериментального исследования можно получить более точные и конкретные данные о взаимодействии различных переменных и их влияние на систему [2]. Основным недостатком является сложность осуществления эксперимента.

Формулы используются для определения данных на основе известных значений и закономерностей, но не всегда точно отражают реальность, так как основаны на упрощенных моделях и предположениях. Кроме того, они могут быть сложными и требовать большое количество вычислений, что может быть затруднительно при большом объеме обрабатываемых данных.

Математическое моделирование позволяет получить различные характеристики и общее представление, о процессах, происходящих в потоке жидкости [3]. Однако данные полученные в результате расчета модели не всегда могут соответствовать реальности, поэтому проведено сравнение результатов моделирования с экспериментом [4, 5].

Объект, на основе которого создана модель представляет собой трубу диаметром 159 мм с сужениями на концах, длина составляет 2,33 м представленной на рис. Средой, проходящей по трубопроводу, является вода, скорость на входе 1 м/с. Давление на входе и выходе 200 кПа. Стационарная постановка задачи, модель турбулентности K-Epsilon Standard.



Модель трубы

Проведя расчет модели, было получено значение расхода на выходе из трубы 0,407 кг/с при расходе на экспериментальном стенде в 0,4 м/с. Расхождение значений составляет менее двух 2%, что объясняется погрешностью измерительных приборов и программного обеспечения, неучтенными сопротивлениями.

### Источники

1. Исайкина А.М. Исследование давления в трубопроводе методом математического моделирования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. С. 219-221.

2. Байкова Л.Р., Новичков А.В. Использование программного комплекса ANSYS при исследовании гидродинамических параметров и вибрации трубопроводов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2020. №: 3. С. 73-76.

3. Abbas Moraveji, Davood Toghraie Computational fluid dynamics simulation of heat transfer and fluid flow characteristics in a vortex tube by considering the various parameters // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. С. 432-443.

4. H. Ganapathy, A. Shooshtari, K. Choo. Volume of fluid-based numerical modeling of condensation heat transfer and fluid flow characteristics in microchannels // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2013. С. 62-72.

5. Ahmed S. U. Numerical investigations on flow characteristics of sand-water slurry through horizontal pipeline using computational fluid dynamics // Journal of Thermal Engineering. 2020. С 140-151.

УДК 662.99

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Лев Дмитриевич Анпилогов<sup>1</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Александр Евгеньевич Кондратьев<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>lev.anpilogov.03@mail.ru, <sup>2</sup>aekondr@mail.ru

**Аннотация.** В статье приводятся результаты обзора применяемых теплоизоляционных материалов и перспективных материалов, находящихся на этапе разработки и прототипирования. Произведено сравнение характеристик рассмотренных материалов.

**Ключевые слова:** тепловая сеть, минеральная вата, теплопроводность, влагостойкость.

## PROMISING MATERIALS FOR HEATING NETWORKS THERMAL INSULATION

Lev D. Anpilogov

Kazan State Power Engineering University, Kazan

lev.anpilogov.03@mail.ru

**Abstract.** 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:** thermal network, thermal insulation material, mineral wool, thermal conductivity, moisture resistance.

Тепловая сеть – это комплекс устройств (в том числе центральные тепловые пункты и сетевые станции), передающий теплоноситель от производителя тепловой энергии до конкретного получателя [1].

В настоящее время в качестве тепловой сети используются трубы из нержавеющей стали в различной теплоизоляции: минеральная вата, пенополиуретановая (ППУ) изоляция заводского исполнения [2].

Для теплоизоляции тепловых сетей обычно применяется минеральная вата. Как правило, такое приспособление представляет собой скорлупы и маты из минваты, надеваемые на трубопроводы любого диаметра. Без дополнительной гидроизоляции (в случае намокания) минвата снижает свои теплофизические свойства, поэтому необходима дополнительная защита кожухами или лентами с цинковым покрытием. В качестве коррозионностойкой защиты нашли применение лакокрасочные или мастичные материалы.

Преимущества минваты: невосприимчивость к ультрафиолетовому солнечному спектру, морозоустойчивость, пожароустойчивость, экологичность, значительный срок эксплуатации (до 60 лет).

К недостаткам минваты относятся: значительные теплопотери (коэффициент теплопроводности – 0,065 Вт/м·К) и слабая влагозащищенность; плохая стабильность антикоррозионных покрытий и нежелательность прямой укладки в грунт т.е. большие затраты на оборудование каналов и слабая прочность.

В настоящее время минвата находит наибольшее применение в помещениях с малым значением влажности, пожаробезопасных и изолированных от постороннего присутствия.

Пенополиуретановая (ППУ) теплоизоляция промышленного производства – это конструкция, изготовленная по методу труба в трубе. Такая технология изготовления реализуется с помощью нанесения слоя изоляции из пенополиуретанового материала между основным трубопровода и гидрозащитой. Трубы в ППУ изоляции эксплуатируются в широком температурном диапазоне окружающей среды (от –80 °С до +130 °С), при этом глубина укладки трубопроводов может лежать в пределах 0,5-0,7 м от поверхности грунта.

Преимущества ППУ: эластичность и, в то же время, твердость, низкий коэффициент теплопроводности ( $0,027 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ ), низкое водопоглощение.

Недостатки: сложность выполнения заливки стыков, необходимость применения специализированного монтажного оборудования, отсутствие ремонтпригодности, чувствительность к ультрафиолетовому и механическому воздействию, низкая вандалоустойчивость и пожаростойкость.

Рассмотрим также перспективные теплоизоляционные материалы, находящиеся на этапе разработки и прототипирования.

Ученые Елена Дикманн и Лейла Шелдрик из Имперского колледжа Великобритании провели исследования и разработали новый материал на основе перьевых волокон [3].

Очищенные и продезинфицированные перьевые волокна обрабатываются с применением методики воздушной укладки с получением нетканых материалов. За счет высокого содержания перьев они имеют очень низкую теплопроводность, необходимую для производства новых теплоизоляционных материалов. Теплопроводность материала составляет  $0,033 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  для образцов плотностью  $59 \text{ кг/м}^3$  при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Динамические испытания на сорбцию воды нетканых материалов из перьевого волокна показали аналогичные показатели по сравнению с имеющимися в продаже натуральными изоляционными материалами из волокон, производимыми из хлопка, конопли и шерсти. Однако в ходе исследования было выявлено несколько существенных технических и коммерческих барьеров, связанных с характеристиками перьев, инвестиционными требованиями к обработке материалов, логистическими проблемами и нормативными актами. Эти барьеры, вероятно, затруднят коммерческую разработку теплоизоляции для зданий.

Следующая перспективная разработка ученых Филиппа Амстиславски и Марии Уайт из университета Аляски в Анкоридже – биоразлагаемый изоляционный материал на основе грибкового мицелия. Основываясь на их исследовании [4], можно сделать следующие выводы:

- 1) Биоразлагаемые изоляционные материалы относительно легкие;
- 2) Плотные упакованные образцы материала, имеют высокую сухую плотность, модули сдвига и Юнга, а также прочность на сжатие;
- 3) Высушенные биоразлагаемые изоляционные материалы демонстрируют хорошую теплопроводность, которая находится в диапазоне от  $0,05$  до  $0,07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Живые образцы обладают более

высокой электропроводностью из-за относительно высокого содержания влаги.

Рассмотренные перспективные разработки позволят, в будущем, существенно снизить тепловые потери теплосетей и финансовые издержки теплосетевых компаний на монтаж теплоизоляции трубопроводов, повысить экологичность отрасли [5].

### **Источники**

1. Acoustic-resonance method for control of the location of hidden hollow objects / S. A. Nazarychev, S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // Journal of Physics: Conference Series : Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings, Kazan, 05–08 ноября 2018 года. Vol. 1328. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012054. – DOI 10.1088/1742-6596/1328/1/012054. – EDN MWGTLL.

2. Горбунов, К. Г. Законодательные проблемы теплоэнергетики / К. Г. Горбунов, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2019. – № 2. – С. 111-113. – EDN LJVNRC.

3. Dieckmann E., Richard Onsiong R., Nagy B, Sheldrick L., Cheeseman C. Valorization of Waste Feathers in the Production of New Thermal Insulation Materials // Waste and Biomass Valorization. 2021. Vol. 12. Pp. 1119–1131.

4. Shakurova, R. Z. On the issue of inertial excitation of diagnostic low-frequency vibrations in pipelines of housing and communal services / R. Z. Shakurova, S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev // E3S Web of Conferences, Kazan, 21–26 сентября 2020 года. Vol. 216. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 01079. – DOI 10.1051/e3sconf/202021601079. – EDN PQKZA.

5. 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.



## ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Никита Алексеевич Анцупов

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент. Александр Евгеньевич Кондратьев

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

anikita74rus@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются актуальные вопросы, касающиеся влияния солнечной энергии на окружающую среду. Рассматриваются плюсы и минусы солнечной энергетики и перспективы ее развития.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, окружающая среда, развитие, влияние.

## THE IMPACT OF SOLAR ENERGY ON THE ENVIRONMENT

Nikita A. Antsupov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

anikita74rus@gmail.com

**Abstract.** This article discusses topical issues related to the impact of solar energy on the environment. The pros and cons of solar energy and the prospects for its development are considered.

**Keywords:** solar energy, environment, development, impact.

Солнечное излучение является одним из наиболее перспективных и экологически чистых способов получения энергии. В последние десятилетия эта технология стала все более популярной во многих странах мира, и сегодня она играет важную роль в снижении негативного влияния энергетической отрасли на окружающую среду [1].

Наиболее значимым аспектом влияния солнечной энергетики на окружающий мир является ее низкий углеродный отпечаток. В отличие от ископаемых топлив, солнечная энергия не выделяет в атмосферу парниковые газы, такие как углекислый газ, который является одной из основных причин изменения климата. Это позволяет значительно снизить выбросы парниковых газов и остановить дальнейшее разорение природных ресурсов.

Другой положительный фактор - сохранение водных ресурсов. Добыча и производство традиционных видов энергии требует большого количества воды, особенно при добыче нефти и газа. В отличие от этого, солнечная энергия не требует значительного использования водных ресурсов для своего функционирования. Это особенно актуально в регионах с ограниченными запасами воды или где проблема доступности чистой питьевой воды является критической [2].

Еще одним важным аспектом является минимальное количество отходов, производимых при создании и использовании солнечных панелей. Солнечные панели не содержат опасных веществ, которые могут загрязнять почву или воду. Кроме того, они имеют долгий срок службы и требуют минимального обслуживания, что помогает уменьшить количество отходов.

Солнечная энергетика также способствует развитию местной экономики и организации большого числа рабочих вакансий. Установка и обслуживание солнечных систем требуют участия специалистов, что создает новые возможности для трудоустройства населения. Кроме того, использование солнечной энергии позволяет уменьшить зависимость от импорта традиционных источников энергии из других стран [3].

Однако, несмотря на все преимущества, солнечная энергетика также имеет некоторые негативные аспекты, которые следует учитывать. Утилизация старых или поврежденных солнечных панелей является проблемой, которая требует разработки эффективных методов переработки и утилизации.

Другой проблемой является высокая стоимость установки и обслуживания солнечных систем. Несмотря на снижение стоимости солнечных панелей в последние годы, все еще требуется значительное финансовое вложение для установки и поддержания работы солнечной энергетической системы. Для решения этой проблемы необходимо разработать более эффективные и дешевые технологии производства солнечных панелей, а также создать программы государственной поддержки для стимулирования использования солнечной энергии [4].

Еще одним важным аспектом, который следует учесть при использовании солнечной энергии, является необходимость больших площадей для размещения солнечных панелей. Для получения значительного количества энергии необходимо иметь большую площадь оборудования. Это может быть проблематично в густонаселенных городах или на маленьких островах. Однако, возможным решением этой проблемы

является интеграция солнечных панелей в уже существующие структуры, такие как крыши зданий или автомобильные парковки.

В целом можно сказать что, солнечная энергетика является наиболее перспективным способом получения энергии. Ее использование способствует борьбе с климатическими изменениями, сохранению окружающей среды и созданию новых рабочих мест. Несмотря на некоторые преграды, перспективы развития этой отрасли велики. Поэтому, необходимо активно поддерживать и стимулировать развитие солнечной энергетике для достижения устойчивого будущего [5].

### Источники

1. Макуева, Д. А. Перспективы использования солнечных коллекторов в Республике Татарстан / Д. А. Макуева, Я. О. Шайхутдинов, А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 711-713. – EDN CGRJPN.

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. 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. 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.

5. Гилязова, Г. Р. Особенности применения солнечных коллекторов для системы отопления / Г. Р. Гилязова, А. Е. Кондратьев //

УДК 621.186.8

## **ПРЕИМУЩЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПЕРЕД МЕМБРАННЫМИ РАСШИРИТЕЛЬНЫМИ БАКАМИ**

Владимир Владимирович Гаврилин<sup>1</sup>, Артём Степанович Гаврилов<sup>2</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Сергей Олегович Гапоненко

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

<sup>1</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru, <sup>2</sup>artemchik-@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены способы поддержания давления в котельных и индивидуальных тепловых пунктах. Были рассмотрены принципы действия и основные преимущества мембранных расширительных баков и установок поддержания давления. Также была представлена формула для расчета объема расширения теплоносителя в системах ИТП и котельных.

**Ключевые слова:** котельная, индивидуальный тепловой пункт, расширительный бак, автоматическая установка поддержания давления, теплоноситель.

## **ADVANTAGES OF AUTOMATIC PRESSURE MAINTENANCE UNITS OVER DIAPHRAGM EXPANSION TANKS**

Vladimir V. Gavrilin<sup>1</sup>, Artem S. Gavrilov<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru, <sup>2</sup>artemchik-@mail.ru

**Abstract.** The article discusses ways to maintain pressure in boiler rooms and individual heating points. The principles of operation and the main advantages of membrane expansion tanks and pressure maintenance units were considered. A formula for calculating the expansion volume of the coolant in ITP systems and boiler rooms was also presented.

**Keywords:** boiler room, individual heat point, expansion tank, automatic pressure maintenance unit, coolant.

В развивающихся городах постоянно строятся и появляются новые объекты жизнедеятельности человека такие, как жилые дома, предприятия различной промышленности, развлекательные комплексы,

образовательные учреждения, производственно-административные здания и сооружения и тд. Все они имеют потребность в тепловой и электрической энергии. Если электрическая энергия поставляется напрямую с центральных магистралей тепловых электростанций, то для получения тепловой энергии зачастую строятся котельные и индивидуальные тепловые пункты (ИТП) под каждый объект.

Котельные достаточно просты в своей конструкции. Тепловая энергия, в виде горячего водоснабжения и отопления, производится в них за счет работы котельного агрегата. Котлы же в свою очередь бывают водогрейными и паровыми, которые предназначены для выработки горячей воды с температурой до 150°C и для генерации пара с давлением свыше 1 МПа. Для передачи тепловой энергии потребителю в котельной предусмотрены насосы, которые подразделяют по контуру их применения: сетевые, котловые, подпиточные и для подачи воды на ГВС. Немаловажным оборудованием любой котельной и ИТП являются расширительные баки. Они предназначены для поддержания давления в системах открытого контура, и для предотвращения разрыва трубопроводов в системах закрытого контура, в случае появления избыточного давления при дополнительном нагреве теплоносителя.

Конструкция расширительного бака и принцип его действия достаточно просты. Мембранный расширительный бак (МРБ) представляет собой стальной резервуар, в котором находится эластичная мембрана. Когда система заполняется теплоносителем, мембрана растягивается и через нижнее отверстие (входной патрубков) в бак поступает жидкость. Сверху мембраны находится воздушная камера, в которую поступает воздух через воздушный клапан. Таким образом в случае избыточного давления теплоноситель поступает в бак, растягивая мембрану и вытесняя воздух, а когда давление падает – мембрана выталкивает воду из бака, компенсируя потери в системе [1]. Но в некоторых системах объем теплоносителя достаточно большой, что затрудняет установку крупногабаритных баков в большом кол-ве, так как объем системы напрямую влияет на необходимый объем бака. Ниже представлена формула для расчета объема МРБ [2]:

$$V = \frac{V_c \times k \times (P_{\max} + 1)}{P_{\max} + P_{\min}},$$

где  $V$  – объем расширения (требуемый объем бака);

$V_c$  – объем системы;

$k$  - коэффициент расширения;

$P_{max}$  – давление срабатывания предохранительного клапана;  
 $P_{min}$  – минимальное давление системы (давление работы бака).

Учитывая вышеизложенное, появилась необходимость создания оборудования, которое компенсировало бы недостатки расширительных баков и повысило бы эффективность работы котельной и ИТП в целом. На смену МРБ пришли автоматические установки поддержания давления (АУПД). Они состоят из демпферных баков, блока управления, насосов, основной и дополнительной емкости, запорно-регулирующей арматуры и контрольно-измерительных приборов. При нагреве воды давление в контуре возрастает. В случае превышения заданного в системе управления давления, открывается перепускной клапан – вода из системы через расширительную линию поступает в основной резервуар. Давление в контуре снова падает. При охлаждении воды давление в контуре снижается. В момент падения давления ниже заданного значения включается в работу насос, который через расширительную линию возвращает воду из основного резервуара в систему. Давление в контуре повышается. Поддержание давления обеспечивается системой управления и дополнительно стабилизируется демпферным баком [3].

Таким образом АУПД имеет ряд преимуществ по сравнению с МРБ. Установки могут выполнять функцию подпитки, деаэрации, поддержания давления и заполнения. Также главным плюсом АУПД перед МРБ является возможность их использования в системе при температуре теплоносителя свыше 100°C. Установки поддержания давления повышают срок службы трубопроводов и снижают вероятность аварий в тепловых пунктах и котельных.

### Источники

1. Ковалев Р. А., Белоусов Р. О. Определение объема расширительного бака в системах индивидуального отопления // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: Материалы конференции, Тула: Тульский государственный университет, 2021. С. 307-309.
2. Расчет объема расширительного бака для отопления [Электронный ресурс]. <https://omismarket.ru/articles/raschet-obema-rasshiritelnogo-baka-dlya-otopleniya/> (дата обращения: 30.10.23).
3. Статика Групп. Автоматические установки поддержания давления, подпитки и дегазации серии АУПД «Статика СТ» и АУПД «Статика СТЗ» (с функцией заполнения) // Паспорт. 2023.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТА РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОГО ТРУБОПРОВОДА

Алсу Рузилевна Галимова<sup>1</sup>

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

Науч. рук. к.т.н., доцент Сергей Олегович Гапоненко

<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлено численное моделирование дефекта резьбового соединения стеклопластикового трубопровода. Рассмотрены особенности разработанного диагностического комплекса, позволяющие обнаружить и зарегистрировать дефекты в исследуемом объекте. Результатом работы является регистрация наиболее информативных частот вдоль длины и по всему диаметру трубопровода с различными видами дефектов.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, моделирование, резьбовое соединение, вибрационный метод, трубопровод, частота.

## NUMERICAL SIMULATION OF A DEFECT IN A THREADED CONNECTION OF A GLASS-PLASTIC PIPELINE

Alsu R. Galimova<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>galimovaar00@mail.ru

**Abstract.** The paper presents numerical modeling of monitoring the technical condition of heat supply systems. The features of the developed diagnostic complex are considered, which make it possible to detect and register defects in the object under study. The result of the work is the registration of the most informative frequencies along the length and along the entire diameter of the pipeline with various types of defects.

**Keywords:** non-destructive testing, modeling, threaded connection, vibration method, pipeline, frequency.

В целях обеспечения безопасности контроля технического состояния систем теплоснабжения важной задачей является повышение энергоэффективности и надежности эксплуатации трубопроводов на основе использования виброакустического метода неразрушающего контроля. Объектом исследования был выбран трубопровод, выполненный

из материала – стеклопластик [1-2]. Стеклопластик является композитным конструкционным материалов, который сочетает в себе такие характеристики как высокая прочность и небольшая плотность. Основные преимущества стеклопластиковых трубопроводов: абсолютное отсутствие коррозии, в том числе и электрохимической; химическая стойкость; высокая износостойкость; высокая механическая прочность при малом весе трубы и др. [3-4].

Целью данной работы является регистрация наиболее информативных частот резьбового соединения стеклопластикового трубопровода с помощью проведения численного моделирования в программном комплексе.

В ходе работы была смоделирована трехмерная модель исследуемых объектов в программе Autodesk Inventor. Модель трубопровода с дефектом резьбового соединения в виде трещины (глубина 2 мм, длина 5 мм) представлена на рис.1.

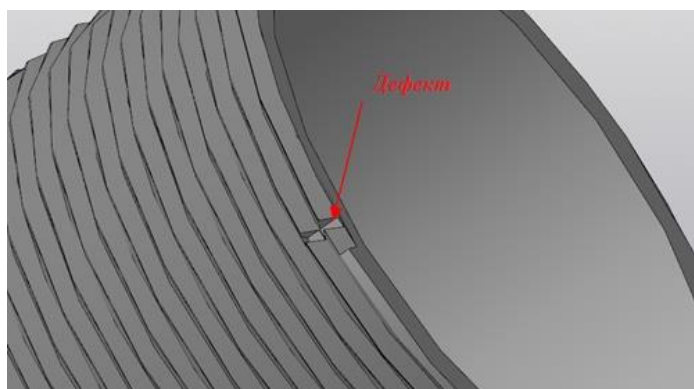


Рис. 1. Трехмерная модель трубопровода с дефектом резьбового соединения (трещина)

Дальнейшая работа заключалась в расчете резонансных частот трубопроводов с применением модального анализа в программном комплексе ANSYS.



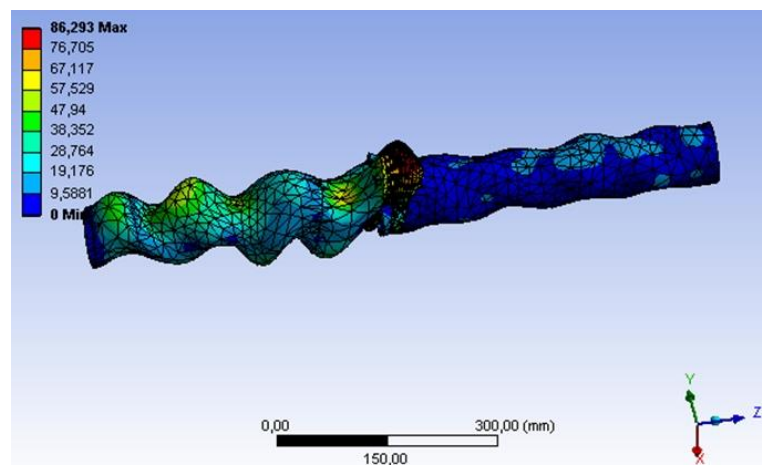


Рис. 2. Трехмерная модель трубопровода 150 моды при частоте 9080,4 Гц

Регистрировались основные частоты при различных 48 режимах вибрации. В результате проведенного модального анализа определены 150 мод колебаний. Результат полученной формы колебания 150 моды при частоте 9080,4 Гц представлен на рис 2.

В результате численного моделирования были рассчитаны собственные частоты исправных трубопроводов и трубопроводов с дефектами различных размеров в диапазоне от 200 до 10 000 Гц. Численное математическое моделирование позволило зарегистрировать наиболее информативные частоты: 563,8; 1384; 1541,4; 2152,3; 7522,6 Гц для трубопровода с измененной геометрией; 1122,6; 2676,6; 3398,5; 4544; 8703,5 Гц для трубопровода с дефектом в виде трещины; 1135,6; 3153,6; 3382; 3554; 8644,1 Гц для трубопровода с дефектом в виде скола; 1046,5; 3452,2; 3986,8; 4257,2; 8507,2 Гц для трубопровода с дефектом в виде кратера.

### Источники

1. 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.
2. Галимова А.Р., Кондратьев А.Е., Гапоненко С.О. Анализ влияния внешних факторов на значения параметров собственных колебаний трубопровода // 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 NUHVAT.

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. Гапоненко С.О. Математическая модель вынужденных колебательных процессов для определения динамического отклика дефектных трубопроводов // В книге: Энергия-2022. Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Материалы конференции. В 6-ти томах. Иваново. 2022. С. 65.

УДК 620.9

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОГО КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ СТАРЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Камиля Расуловна Гафиятуллина<sup>1</sup>, Максим Дмитриевич Крайков<sup>2</sup>,  
Александр Валерьевич Федюхин<sup>3</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Юрий Витальевич Ваньков

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

<sup>3</sup>НИУ «МЭИ», г. Москва

<sup>1</sup>Kgafiatullina@yandex.ru, <sup>2</sup>maksim\_kraikov@mail.ru, <sup>3</sup>fedyukhinav@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приведен метод расчет коэффициента ускорения старения для прогнозирования долгосрочных характеристик тепловой изоляции.

**Ключевые слова:** везерометр, уравнение Аррениуса, модель Пека.

## **METHOD OF CALCULATION OF THE COMBINED COEFFICIENT OF AGING ACCELERATION UNDER THE INFLUENCE OF UV RADIATION, TEMPERATURE AND HUMIDITY ON THERMAL INSULATION MATERIALS**

Kamilya R. Gafiatullina<sup>1</sup>, Maxim D. Krakov<sup>2</sup>,  
Alexander V. Fedyukhin<sup>3</sup>

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

<sup>3</sup>MPEI, Moscow

<sup>1</sup>Kgafiatullina@yandex.ru, <sup>2</sup>maksim\_kraikov@mail.ru, <sup>3</sup>fedyukhinav@yandex.ru

**Abstract.** The article presents a method for calculating the aging acceleration coefficient for predicting the long-term characteristics of thermal insulation.

**Keywords:** weatherometer, Arrhenius equation, Peck model.

Для эффективной оценки последствий старения теплоизоляционные материалы следует подвергать длительному воздействию естественного климата. В качестве альтернативы могут быть проведены ускоренные лабораторные испытания, при которых материал подвергается воздействию условий для ускорения нормальных процессов старения [1].

Наиболее критичными климатическими нагрузками, которые действуют как фактор старения материалов, являются: УФ-излучение, экстремальные температуры, изменения температуры, повышенная влажность, физические нагрузки, ветер, микроорганизмы.

Для прогнозирования долгосрочных характеристик теплоизоляции используют везерометры, предназначенные для испытаний на воздействие УФ-излучения, температуры и влажности на исследуемый объект.

Для оценки коэффициента ускорения старения используются уравнение Аррениуса, модель Пека и простая пропорция между общей УФ-энергией во время старения и естественным процессом старения на открытом воздухе (1) [2].

$$AF_{UV+T/RH} = \frac{1}{3}(AF_{T1} \cdot AF_H) + \frac{2}{3}(AF_{T2} \cdot AF_{UV}); \quad (1)$$

где  $AF_{UV+T/RH}$  - комбинированный коэффициент ускорения УФ-излучения, температуры и влажности;  $AF_{T1}$  - коэффициент температурного ускорения в течение 4-часового испытательного цикла, когда наблюдались только высокие температура и влажность;  $AF_H$  - коэффициент ускорения влажности;  $AF_{T2}$  - коэффициент температурного ускорения в течение 8-часового испытательного цикла, когда действовали только температура и УФ-излучение;  $AF_{UV}$  - коэффициент ускорения УФ-излучения.

Для определения связи условий испытаний на старение с типичными полевыми коэффициентом ускорения рассчитывается на основе уравнения Аррениуса (2).

$$AF_{T1} = e^{-\frac{E_A}{K} \cdot (\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_U})}; \quad (2)$$

где  $E_A$  - энергия активации механизма разрушения [3];  $K$  - постоянная Больцмана;  $T_A$  - температура ускорения в Кельвинах;  $T_U$  - температура условий эксплуатации в Кельвинах.

Коэффициент ускорения по влажности рассчитывается на основе модели Пека (3) [4]. Это модель с двумя факторами воздействия, основанная на температуре и относительной влажности.

$$AF_{TH} = AF_T \cdot AF_H; \quad (3)$$

где  $AF_H$  - коэффициент ускорения влажности (4).

$$AF_H = \left(\frac{RH_A}{RH_U}\right)^m; \quad (4)$$

где  $RH_A$  - относительная влажность теста (100%);  $RH_U$  - относительная влажность в естественных климатических условиях (предполагается равной 40%);  $m$  - константа влажности, принятая за значение 2,66 [5].

Коэффициент УФ-излучения определяется по формуле (5).

$$AF_{UV} = \frac{\Phi_A}{\Phi_U}; \quad (5)$$

где  $\Phi_A$  - общая энергия УФ-излучения при ускоренном старении;  $\Phi_U$  - энергия УФ-излучения при естественном старении на открытом воздухе.

На основании данной методики расчета коэффициента ускорения старения в климатической камере можно оценить долговечность и долгосрочные характеристики теплоизоляционных материалов.

Работа выполнена в рамках Гос. задания № 075-03-2023-291/1.

### Источники

1. Павлов Е.В., Леснякова М.Е., Шин Л.Зо. Анализ видов и процедур испытаний, проводимых в температурных и климатических

камерах // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее. Сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции. - Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. - С. 263-267.

2. Umberto Berardi, Roya Hamideh Nosrati Long-term thermal conductivity of aerogel-enhanced insulating materials under different laboratory aging conditions // Energy. - 2018. - №147. - С. 1188-1202.

3. Jelle ВР Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory // Journal of Materials Science. – 2012. - №47. – С. 6475–6496.

4. Никонова А.С., Иваней А.А., Похольченко В.А. Разработка конструктивно-технологических параметров климатической камеры инновационного типа // Наука и образование - 2018. - Мурманск: Мурманский государственный технический университет, 2019. - С. 267-270.

5. Киселев, И. Я. Уравнения изотерм сорбции паров воды материалами ограждающих конструкций зданий / И. Я. Киселев // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 3(381). – С. 203-207. – EDN FDOJPD.

УДК 620.9

## РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СТАРЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРОДА КАЗАНИ

Камиля Расуловна Гафиятуллина<sup>1</sup>, Максим Дмитриевич Крайков<sup>2</sup>,  
Александр Валерьевич Федюхин<sup>3</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Юрий Витальевич Ваньков

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

<sup>3</sup>НИУ «МЭИ», г. Москва

<sup>1</sup>Kgafiatullina@yandex.ru, <sup>2</sup>maksim\_kraikov@mail.ru, <sup>3</sup>fedyukhinav@yandex.ru

**Аннотация.** В статье приведен расчет эквивалентной длительности старения для проведения испытаний в везерометре.

**Ключевые слова:** везерометр, уравнение Аррениуса, модель Пека.

# CALCULATION OF THE EQUIVALENT DURATION OF AGING OF THERMAL INSULATION MATERIALS FOR THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE CITY OF KAZAN

Kamilya R. Gafiatullina<sup>1</sup>, Maxim D. Krakov<sup>2</sup>,  
Alexander V. Fedyukhin<sup>3</sup>

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

<sup>3</sup>MPEI, Moscow

<sup>1</sup>Kgafiatullina@yandex.ru, <sup>2</sup>maksim\_kraikov@mail.ru, <sup>3</sup>fedyukhinav@yandex.ru

**Abstract.** The article provides a calculation of the equivalent duration of aging for testing in a weatherometer.

**Keywords:** weatherometer, Arrhenius equation, Peck model.

Для эффективной оценки последствий старения теплоизоляционные материалы следует подвергать длительному воздействию естественного климата. В качестве альтернативы могут быть проведены ускоренные лабораторные испытания, при которых материал подвергается воздействию условий для ускорения нормальных процессов старения [1].

Наиболее критичными климатическими нагрузками, которые оказывают влияние на старение материалов, являются: УФ-излучение, экстремальные температуры, изменения температуры, повышенная влажность, физические нагрузки, ветер, микроорганизмы [2].

Для прогнозирования долгосрочных характеристик теплоизоляции используют везерометры, предназначенные для испытаний на воздействие УФ-излучения, температуры и влажности на исследуемый объект [3].

Для оценки коэффициента ускорения старения используются уравнение Аррениуса, модель Пека и простая пропорция между общей УФ-энергией во время старения и естественным процессом старения на открытом воздухе (1) [4].

$$AF_{UV+t/RH} = \frac{1}{3}(AF_{T1} \cdot AF_H) + \frac{2}{3}(AF_{T2} \cdot AF_{UV}); \quad (1)$$

Для определения эквивалентной длительности старения в ксеноновой камере был проведен расчет коэффициента ускорения старения для климатических условий г. Казани.

Для оценки коэффициента ускорения по температуре учитывались температура испытаний 70 °С и температура условий эксплуатации 15 °С.

Относительная влажность в камере принималась 100%, в естественных климатических условиях 40%. Усредненное значение солнечной радиации 114,41 Вт/м<sup>2</sup>.

Коэффициент температурного ускорения в течение 4-часового испытательного цикла, когда наблюдались только высокие температура и влажность, рассчитывается по формуле (2).

$$AF_{T1} = e^{-\frac{E_A}{K} \cdot (\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_U})} = e^{-\frac{70000}{8,314} \cdot (\frac{1}{65} - \frac{1}{15})} = 75,54; \quad (2)$$

Коэффициент температурного ускорения в течение 8-часового испытательного цикла, когда действовали только температура и УФ-излучение, рассчитывается по формуле (3).

$$AF_{T2} = e^{-\frac{E_A}{K} \cdot (\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_U})} = e^{-\frac{70000}{8,314} \cdot (\frac{1}{55} - \frac{1}{15})} = 35,35; \quad (3)$$

Коэффициент ускорения влажности рассчитывается по формуле [5] (4).

(4)

Коэффициент ускорения УФ-излучения по формуле (5).

$$AF_{UV} = \frac{\Phi_A}{\Phi_U} = \frac{1200}{114,41} = 10,49; \quad (5)$$

На основании расчетов эксплуатация длительностью 5 лет в условиях климата г. Казани будет воспроизведена в везерометре за 57,3 часа, что составит 2,4 суток или 5 циклов по 12 часов.

Работа выполнена в рамках Гос. Задания № 075-03-2023-291/1.

### Источники

1. Павлов Е.В., Леснякова М.Е., Шин Л.Зо. Анализ видов и процедур испытаний, проводимых в температурных и климатических камерах // Проблемы и перспективы развития России: молодежный взгляд в будущее. сборник научных статей 4-й Всероссийской научной

конференции. - Курск: Юго-Западный государственный университет , 2021. - С. 263-267.

2. Бурков, Д. В. Защита трубопроводов от коррозии под тепловой изоляцией / Д. В. Бурков, М. Г. Губайдуллин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2023. – № 3(143). – С. 94-102. – DOI 10.17122/ntj-oil-2023-3-94-102. – EDN NQLPJM.

3. Лукашевич, В. Н. Исследование изменений состояния и свойств волокон дисперсной арматуры в процессе строительства и эксплуатации асфальтобетонных покрытий / В. Н. Лукашевич, О. Д. Лукашевич // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 185-196. – DOI 10.31675/1607-1859-2023-25-3-185-196. – EDN TQJNLC.

4. Umberto Berardi, Roya Hamideh Nosrati Long-term thermal conductivity of aerogel-enhanced insulating materials under different laboratory aging conditions // Energy. - 2018. - №147. - С. 1188-1202.

5. Jelle BP Accelerated climate ageing of building materials, components and structures in the laboratory // Journal of Materials Science. – 2012. - №47. – С. 6475–6496.

УДК 621.643.8

## МОДЕЛЬ ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ ПОИСКА ТЕЧЕЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Земфира Ирековна Гаязова<sup>1</sup>, Екатерина Андреева Усанова<sup>2</sup>

Науч. рук. к.т.н., доцент Шамиль Гаязович Зиганшин

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

<sup>1</sup>zemfira.gayazova2000@yandex.ru, <sup>2</sup>usankate03@gmail.com

**Аннотация.** В работе представлена модель трубопровода с утечкой, построенная в среде *Ansys/Fluent*, необходимая для проведения исследований, установления зависимостей при поиске течей трубопровода методом конечных элементов.

**Ключевые слова:** модель, утечка, поиск течей, повышение эффективности, метод конечных элементов.



## PIPELINE MODEL FOR DETECTING LEAKS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Zemfira I. Gayazova<sup>1</sup>, Ekaterina A. Usanova<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>zemfira.gayazova2000@yandex.ru, <sup>2</sup>usankate03@gmail.com

**Abstract.** The work presents a model of a pipeline with a leak, built in the Ansys/Fluent environment, necessary for conducting research and establishing dependencies when searching for pipeline leaks using the finite element method.

**Keywords:** model, leakage, leak detection, efficiency improvement, finite element method.

Математическое описание потока жидкости в трубопроводе представляет собой систему, имеющую неоднородную геометрическую конфигурацию, а также физическую структуру, влияние на которую может оказывать огромное множество факторов, таких как сварные соединения, шероховатость стенки и так далее. В конечном итоге мы получаем задачу с бесконечным множеством функций [1,2].

Для описания подобной системы можно воспользоваться методом конечных элементов, данный метод позволяет описать сложные математические модели некоторым семейством функций, имеющих конечное число параметров, максимально удовлетворяющих условиям задачи [3].

В данной работе показана модель трубопровода с дефектом, представленная на рисунке 1, для определения влияния дефекта на параметры потока и выявления зависимостей. Модель построена в программной среде Ansys/Fluent [4].

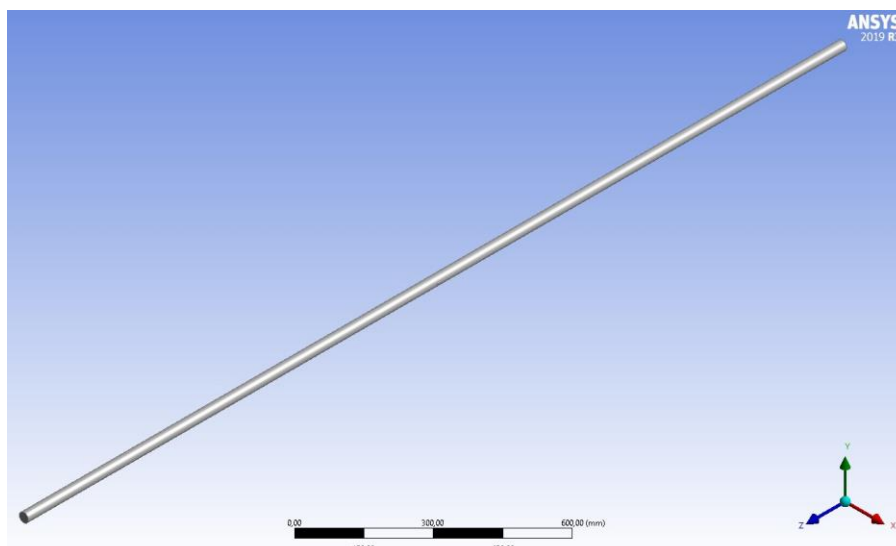


Рис. 1. Модель трубопровода

Для проведения расчетов трубопровод был поделен на отдельные сектора, характеризующиеся своим семейством функций. Сетка разбиения представлена на рисунке 2.

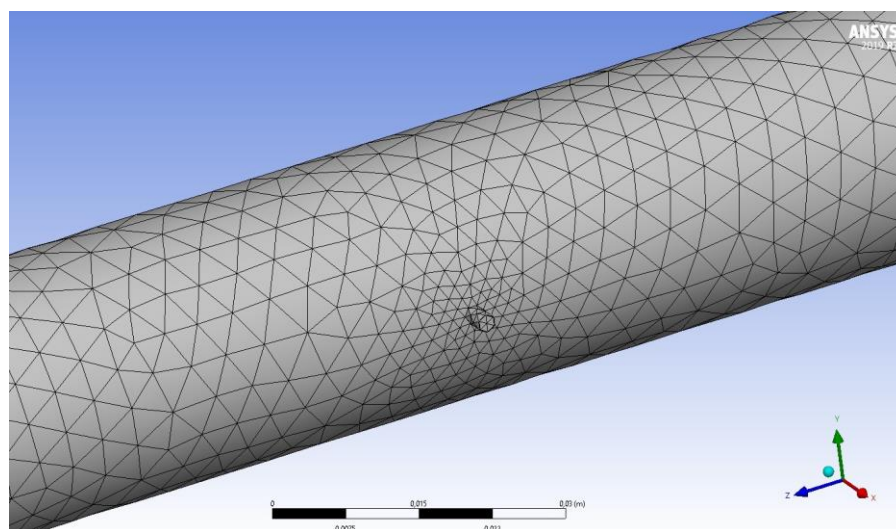


Рис. 2. Сетка разбиения трубопровода

Увеличение точности расчета напрямую зависит от максимального размера элемента сетки, но слишком маленький шаг сетки значительно увеличит время расчетов и требования к вычислительной мощности [5].

Данные по расходам (табл.1), полученные в процессе расчета очень близки к данным полученным при замерах, что говорит о том, что данная

цифровая модель соответствует оригиналу и может использоваться для проведения дальнейших расчетов.

Таблица 1

Данные по расходам

	Расход на входе, л/с	Расход на выходе, л/с	Расход через дефект, л/с
Реальная труба	0,367	0,317	0,05
Цифровая модель	0,366	0,321	0,045

### Источники

1. Розин Л. А. Метод конечных элементов //Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – №. 4. – С. 120-127.

2. Бате, К. Ю. Методы конечных элементов / К. Ю. Бате. – Moscow, 2010. – 1024 с

3. Исайкина Анастасия Михайловна ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКОВ В ТРУБОПРОВОДЕ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №4.

4. Петрушенко Юрий Яковлевич, Ваньков Юрий Витальевич, Зиганшин Шамиль Гаязович, Серов Виктор Викторович Определение информативных параметров дефектов трубопроводов методом конечных элементов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2009. №7-8.

5. Макарьянц Г. М., Прокофьев А. Б., Шахматов Е. В. Моделирование виброакустических характеристик трубопровода с использованием метода конечных элементов // Известия Самарского научного центра РАН. 2002. №2

УДК 620.92

## ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛОВОГО МАССИВА ОТ ТЕРМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА

Полина Евгеньевна Глухова<sup>1</sup>; Глеб Владимирович Колосов<sup>2</sup>  
Науч. рук. к-д техн. наук, доц. Александр Евгеньевич Кондратьев

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

<sup>1</sup>she\_is\_pauline@mail.ru, <sup>2</sup>adam\_escobaro@mail.ru

**Аннотация.** Представлен обзор теплоснабжения жилого массива, где в качестве основного источника тепла используется термальный источник. Описаны преимущества и недостатки геотермальной энергии, а также технологические аспекты реализации систем геотермального отопления с открытым и замкнутым контуром.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, термальный источник, тепло, отопление, экологичность, долговечность, ограниченность ресурсов, открытый контур, закрытый контур.

## HEAT SUPPLY OF A RESIDENTIAL AREA FROM A THERMAL SOURCE

Polina E. Glukhova<sup>1</sup>; Gleb V. Kolosov<sup>2</sup>

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>she\_is\_pauline@mail.ru; <sup>2</sup>adam\_escobaro@mail.ru

**Abstract.** An overview of the heat supply of a residential area, where a thermal source is used as the main heat source, is presented. The advantages and disadvantages of geothermal energy, as well as technological aspects of the implementation of open and closed loop geothermal heating systems are described.

**Keywords:** heat supply, thermal source, heat, heating, environmental friendliness, durability, limited resources, open circuit, closed circuit.

Теплоснабжение жилого массива от термальных источников — это процесс обеспечения жилых домов и зданий теплом, используя геотермальную энергию.

Теплоснабжение от термальных источников имеет ряд преимуществ перед традиционными системами отопления, такими как: экологичность - не производит выбросов вредных веществ в атмосферу. Долговечность - могут работать без обслуживания в течение длительного времени, что снижает затраты на эксплуатацию [1].

Однако использование геотермальной энергии также имеет некоторые недостатки, такие как: высокая стоимость установки оборудования, ограниченность ресурсов - не все регионы имеют доступ к термальным источникам.

Геотермальное теплоснабжение представляется как эффективный способ использования тепла, получаемого из недр Земли. Распространенной технологией является система геотермального отопления с открытым контуром. Вода под напором поступает из

скважины геотермальных источников в хранилище геотермальной жидкости. Затем она перекачивается в здание и используется для обогрева. Тепловая энергия передается от воды к обогревательным механизмам, после чего охлажденная вода возвращается в источник через обратную линию теплосети. Некоторое количество воды может применяться для горячего водоснабжения посредством водопроводных кранов [2].

Важно подчеркнуть, что именно такая система отопления подвергается коррозии и формированию солевых отложений в трубах и в нагревательных элементах. Это связано со спецификой геотермальной воды, которая может содержать различные минеральные вещества и соли.

Геотермальное теплоснабжение с замкнутым контуром обычно применяется для объектов, работающих круглый год и нуждающихся в горячем водоснабжении. Этот метод основан на теплообмене между геотермальной водой и вспомогательным теплоносителем, циркулирующим в отопительных и водонагревательных системах [3].

Процесс происходит следующим образом: вода из источника под давлением направляется в резервуар для хранения. Отсюда геотермальная жидкость перекачивается по однетрубному контуру к центральному пункту геотермальной тепловой энергии (ЦПТГ). Здесь вода отдает свое тепло во вторичных теплообменниках, используемых для водонагревательных и отопительных систем. Подогретый вспомогательный теплоноситель затем транспортируется от ЦПТГ к системам отопления и горячего водоснабжения в зданиях по отдельным трубопроводам. Циркуляция воды по системам отопления обеспечивается с помощью сетевого насоса и хотя эта система геотермального обогрева и стоит дороже, она способна обеспечивать необходимую мощность для систем отопления и подогрева воды как в отопительный период, так и летом [4].

При выборе наиболее эффективного способа использования геотермальной энергии для отопления и обеспечения горячей водой необходимо провести сравнение экономических показателей различных подходов к созданию геотермальной системы обогрева. Однако самым важным аспектом является обеспечение стабильного теплоснабжения потребителей, включая предотвращение образования накипи в трубах и защиту от коррозии, вызванной геотермальными водами [5].

### **Источники**

1. Даутов, Р. Р. Экологические аспекты применения тепловых насосов в индивидуальном отоплении / Р. Р. Даутов, А. Е. Кондратьев //

Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование : Международная научно-техническая конференция. Электронный сборник научных статей по материалам конференции в 3-х томах, Алматы, Казань, 20–21 октября 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 192-195. – EDN TTETWR.

2. 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.

3. Горбунов, К. Г. Законодательные проблемы теплоэнергетики / К. Г. Горбунов, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2019. – № 2. – С. 111-113. – EDN LJVNRC.

4. 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. Acoustic-resonance method for control of the location of hidden hollow objects / S. A. Nazarychev, S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // Journal of Physics: Conference Series : Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings, Kazan, 05–08 ноября 2018 года. Vol. 1328. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012054. – DOI 10.1088/1742-6596/1328/1/012054. – EDN MWGTLI.

УДК.620.92

## **БИОГАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Алина Юрьевна Кабатъева

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Александр Евгеньевич Кондратьев

ФГБОУ ВО “КГЭУ”, г. Казань, Республика Татарстан

alinochkakabateva@mail.ru

**Аннотация.** Биогазовые технологии могут решить не только проблемы истощаемости энергетических ресурсов и экологичности производства энергии, но и повысить экономическую выгоду производства. Биогаз подходит для выработки электроэнергии, теплоснабжения и производства энергетических топлив.

**Ключевые слова:** Топливо, биогаз, биогумус, повышение эффективности, температура ферментации.

## **BIOGAS TECHNOLOGIES FOR ELECTRICITY GENERATION**

Alina Yu. Kabatyeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

alinochkakabateva@mail.ru

**Abstract.** Biogas technologies can solve not only the problems of exhaustion of energy resources and environmental friendliness of energy production, but also increase the economic benefits of production. Biogas fuel is suitable for electricity generation, heat supply and energy fuel production.

**Keywords:** Fuel, biogas, vermicompost, efficiency improvement, fermentation temperature.

Использование биогазовых технологий предоставляет значительные экологические, экономические и энергетические выгоды, способствуя устойчивому развитию и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Преимущества использования биогазовых технологий можно разделить на:

Экологические преимущества:

1. Снижение выбросов парниковых газов: при сжигании биогаза выделяется значительно меньше углекислого газа и других потенциально вредных газов, чем при сжигании ископаемого топлива.

2. Сокращение запахов и загрязнения окружающей среды: биогазовые установки обрабатывают органические отходы, что приводит к снижению запахов и предотвращает загрязнение водных и почвенных ресурсов.

3. Улучшение качества почвы: конечным продуктом биогазовых установок является биогумус, который может быть использован для улучшения плодородия почвы и снижения использования химических удобрений [1].

Экономические выгоды:

1. Снижение энергозатрат: использование биогазовых технологий позволяет снизить расходы на энергию и топливо, особенно для предприятий и фермерских хозяйств, которые могут производить собственный биогаз.

2. Облегчение зависимости от ископаемых источников: биогазовые технологии предоставляют возможность независимого производства энергии, не зависящей от колебаний цен на ископаемые топлива [2].

Существуют технологии для улучшения качества биогаза. Например, такие как обработка серы, очистка влаги или разделение газовых компонентов. Сероводород, который может содержаться в биогазе, может быть удален с помощью специальных фильтров, сорбентов или процессов биологической очистки. Наличие влаги может негативно влиять на качество биогаза и оборудование. Для удаления влаги могут применяться различные методы, включая конденсацию или поглощение влаги с помощью сорбентов. Для получения чистого метана, содержащегося в биогазе, могут использоваться различные методы, такие как сорбционные процессы или технологии мембранного разделения.

Применение этих технологий позволяет повысить качество биогаза, уменьшить его содержание вредных примесей и обеспечить более эффективное использование этого возобновляемого источника энергии.

Биогазовая энергия находит свое применение в выработке электроэнергии, теплоснабжении и производстве топлива [3].

Биогаз может быть использован для производства электроэнергии в специальных биогазовых электростанциях. Биогаз сжигается в генераторе, который преобразует его в электрическую энергию при помощи турбины или двигателя внутреннего сгорания. Малые биогазовые установки могут быть установлены на фермах, в зонах сельского хозяйства или даже в частных домах. Это позволяет производить собственную электроэнергию для нужд хозяйств и местного населения.

Биогаз и для производства используется для горячей воды, используемой для отопления домов и других зданий. Он может быть подан на котлы или теплообменники для нагрева воды перед ее распределением по системе отопления, а также в промышленности для нагрева процессов, таких как сушка, парогенерация или плавление металла. Это может снизить потребление ископаемого топлива или электричества [4].

Несмотря на все возможности, приобретаемые при использовании биогаза, существуют также проблемы и ограничения, такие как недостаток сырья: достаточное количество сырья для производства биогаза может быть ограничено, особенно на местах с высокой плотностью населения или



ограниченными ресурсами органического отхода. Финансовые и экономические проблемы: инвестиции в биогазовые установки могут быть высокими, особенно для малых предприятий или фермерских хозяйств. Окупаемость проектов может занимать значительное время. Проблема отсутствия регулятивной поддержки: некоторые страны не предоставляют достаточных стимулов или необходимых правовых и регулятивных механизмов для поддержки развития биогазовой энергетики.

Однако, открываются возможности для инноваций и улучшений:

Улучшение эффективности процесса: исследования и разработки в области биогазовых технологий могут привести к улучшению процесса производства и повышению его эффективности, включая улучшение эффективности ферментации, усовершенствование систем очистки биогаза и развитие новых методов производства тепловой энергии, в частности, инфракрасные системы обогрева [5].

Диверсификация источников сырья: исследования в области биогаза предлагают возможности поиска новых источников сырья, таких как сельскохозяйственные отходы, остатки производства пищевых продуктов или лесной массы.

Развитие технологии хранения и использования: исследования направлены на разработку новых технологий хранения биогаза, включая разработку инфраструктуры для использования биогаза в сети газопоставок или для производства жидкого биометана для автотранспорта.

### **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. Биркин, С.М. Обоснование применения биогазовых установок на животноводческих фермах и комплексах / С.М. Биркин, Н.М. Антонов // Вестник КрасГАУ. 2009. - №5. - С.156-158.
3. Мустафина, Г. Р. Особенности конструкций реакторов для получения биотоплива / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики : II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СУМГАИТ, 12–13 ноября 2020 года. – СУМГАИТ: Сумгаитский государственный университет, 2020. – С. 277-280. – EDN JJVOBP.
4. Мустафина, Г. Р. Особенности применения биогазовой установки на птицефабрике / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев //

Научному прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 38-40. – EDN FROXKA.

5. 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.

УДК.620.92

## **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СЫРЬЯ НА ПРОИЗВОДСТВО БИОГАЗА**

Алина Юрьевна Кабатьева

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Александр Евгеньевич Кондратьев

ФГБОУ ВО “КГЭУ”, г. Казань, Республика Татарстан

alinochkakabateva@mail.ru

**Аннотация.** Органический субстрат, из которого производится биогаз имеет различный состав и характеристики. При анализе влияния состава, структуры и других характеристик, можно найти способы повышения эффективности и экономичности выработки биогаза.

**Ключевые слова:** Органический субстрат, биогаз, аммиакальное отравление, деградация субстрата, температура ферментации.

## **INFLUENCE OF RAW MATERIAL COMPOSITION ON BIOGAS PRODUCTION**

Alina Yu. Kabatyeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

alinochkakabateva@mail.ru

**Abstract.** The organic substrate from which biogas is produced has a different composition and characteristics. When analyzing the influence of composition, structure and other characteristics, it is possible to find ways to increase the efficiency and economy of biogas production.

**Keywords:** Organic substrate, biogas, ammonia poisoning, degradation of the substrate, fermentation temperature.

Органический субстрат — это любой органический материал, используемый для производства биогаза. Это может быть различный вид растительных остатков, пищевые отходы, животный навоз, а также другие органические отходы.

Биогаз — это смесь газов образующихся в результате анаэробного сбраживания. Основными компонентами биогаза являются метан и углекислый газ, а также малые количества других газов, таких как сероводород и азот.

Изучение влияния состава органического субстрата на выход биогаза является важным, поскольку оптимальный состав субстратов может значительно повысить процент метана в биогазе и обеспечить более высокую производительность и эффективность процесса биогазового производства. Кроме того, исследование влияния состава субстрата позволяет определить наиболее подходящие и экономически эффективные источники органического материала для производства биогаза. Такие исследования могут привести к оптимизации процессов и повышению энергетической эффективности с использованием доступных ресурсов органического субстрата [1].

Существует несколько категорий органических субстратов:

Животный навоз: включает навоз от различных животных, таких как коровы, свиньи, птицы и т.д.

Растительные остатки: включают стебли, листья, ветки, солому, сено, силос и другие растительные материалы.

Биомасса: включает различные виды растений, как естественных, так и выращенных специально для производства биогаза, например, энергетические культуры, такие как кукуруза, сорго, полынь, тростник, лесной древесный материал и т. д. [2].

Соотношение углерода и азота является важным фактором влияния на процесс биогазового производства. Оптимальное соотношение может различаться для разных типов субстратов, но обычно рекомендуется усредненное значение около 25:1. Если соотношение слишком высокое (более 30:1), то органический материал может быть слишком «углеродистым», что как правило приводит к замедлению разложения и меньшему выходу биогаза.

Кислотность среды. Оптимальный РН для биогазового процесса обычно лежит в диапазоне 6-8, в зависимости от микроорганизмов. Кислотная или щелочная среда может замедлить или прекратить активность микроорганизмов [3].

Температура ферментации различается для разных микроорганизмов, но обычно лежит в диапазоне 35-55 градусов. Температура влияет на скорость разложения органического материала и производства биогаза.

Соотношение субстратов также имеет важное значение для достижения оптимальной ферментации и высокого выхода биогаза. Некоторые субстраты могут быть более богатыми на органические вещества и легче разлагаться, в то время как другие могут содержать меньше питательных веществ и требовать сочетания с другими субстратами для достижения оптимальной деградации. Использование правильного соотношения субстратов может повысить активность микроорганизмов и увеличить выход биогаза [4].

Технические аспекты могут включать доступность и легкость обработки различных типов субстратов. Некоторые субстраты могут быть легко доступными и требовать минимальной подготовки перед использованием в процессе биогазообразования, в то время как другие могут быть более сложными в обработке. Учитывая такие технические аспекты, можно определить оптимальный состав субстратов, который будет наиболее удобным и эффективным в конкретной ситуации [5].

Анализ примеров исследований и практических опытов является важным фактором для определения оптимального состава субстратов для максимального выхода биогаза. Часто проводятся исследования и практические опыты, чтобы определить, какие составы субстратов дают наилучшие результаты в терминах биогазового выхода. Эти исследования и опыты могут включать в себя различные типы субстратов, разные соотношения между ними и различные микроорганизмы. Анализ таких примеров исследований и практических опытов может помочь определить, какие составы субстратов дают наилучшие результаты и как их оптимизировать для достижения максимального выхода биогаза.

### **Источники**

1. Суслов Д. Ю. Разработка системы газоснабжения сельскохозяйственного предприятия с использованием биогаза // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 183-186.
2. Биркин, С.М. Обоснование применения биогазовых установок на животноводческих фермах и комплексах / С.М. Биркин, Н.М. Антонов // Вестник КрасГАУ. 2009. - №5. - С.156-158.

3. Мустафина, Г. Р. Особенности конструкций реакторов для получения биотоплива / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики : II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СУМГАИТ, 12–13 ноября 2020 года. – СУМГАИТ: Сумгаитский государственный университет, 2020. – С. 277-280. – EDN JJVOBP.

4. Мустафина, Г. Р. Особенности применения биогазовой установки на птицефабрике / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 38-40. – EDN FROХКА.

5. Евдокимов А. Н., Татаринov В. М. Инновационная комплексная технология анаэробной переработки и использования отходов индустриального животноводства / / Журнал «ЭСКО» Энергосервисной компании "Экологические системы". 2009. – С. 3

УДК.620.92

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАНОУЛОВИТЕЛЕЙ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ**

Алина Юрьевна Кабатъева

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Александр Евгеньевич Кондратьев

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

alinochkakabateva@mail.ru

**Аннотация.** Биогазовые технологии могут решить не только проблемы исчерпаемости энергетических ресурсов и экологичности производства энергии, но и повысить экономическую выгоду производства. Одной из главных частей, влияющих на энергоэффективность установки, является метаноуловитель. В статье представлены конструктивные варианты метаноуловителей.

**Ключевые слова:** Метаноуловитель, биогаз, повышение эффективности, входной коллектор, реактор.

## **DESIGN FEATURES OF BIOGAS PLANT METHANE TRAPS**

Alina Yu. Kabatyeva

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

alinochkakabateva@mail.ru

**Abstract.** Biogas technologies can solve not only the problems of exhaustion of energy resources and environmental friendliness of energy production, but also increase the economic benefits of production. One of the important parts affecting the energy efficiency of the installation is the methane trap. The article discusses the design features of methane traps.

**Keywords:** Methane trap, biogas, efficiency improvement, inlet collector, reactor.

Метаноуловители — это устройства, разработанные для снижения выбросов метана в атмосферу. Метан является одним из факторов, влияющих на выделение парниковых газов, способствующих глобальному потеплению. Он обладает значительной потенциальной способностью удерживать тепло и вносит серьезный вклад в климатические изменения.

Метаноуловители предназначены для сбора и обработки метана, выделяющегося из различных источников, таких как отходы, сельскохозяйственные операции, нефтегазовая промышленность и другие процессы. Они обычно включают в себя системы сбора газа, его очистки и доставки до места его дальнейшего использования или утилизации.

Метаноуловители для биогазовых установок являются важными компонентами для обработки и улавливания метана, который является основным компонентом биогаза. Основная цель метаноуловителей - обеспечить эффективное разделение и улавливание метана из смеси газов, получаемых в результате биологического разложения органического материала [1].

Конструкция метаноуловителя может зависеть от его размеров, мощности и места применения. Однако наиболее распространенной конструкцией метаноуловителя является вертикальная цилиндрическая емкость с нижними и верхними открытиями для подачи сырья и вывода обработанного газа соответственно.

Основные компоненты конструкции метаноуловителя включают:

1. Входной коллектор, который используется для сбора и подачи сырья (природного газа или других источников метана) в метаноуловитель [2].

2. Реактор — это место, где происходит реакция образования метанового гидрата. Реактор обычно имеет специальное оборудование для создания оптимальных условий (например, давления и температуры) для формирования метанового гидрата. После образования метанового гидрата происходит его отделение от жидкости и газа. Обычно это осуществляется с помощью встроенных фильтров или специальных оборудований для сепарации.

4. Уже обработанный газ выводится из метаноуловителя через выходной коллектор для последующего использования или хранения [3].

Конструктивные особенности метаноуловителей для биогазовых установок могут варьироваться в зависимости от различных факторов, таких как объем и состав биогаза, требования по улавливанию метана, доступность технологий и бюджет.

Одним из распространенных типов метаноуловителей является плавающий купол (также известный как плавучий купол или плавающий покров). Этот тип метаноуловителя представляет собой герметичное покрытие, который устанавливается над открытой емкостью, такой как лагуна или биогазовый резервуар. Под куполом формируется напряжение, которое обеспечивает улавливание и сбор метана, выделяемого процессом разложения органического материала [4].

Другие конструктивные особенности метаноуловителей могут включать системы трубопроводов и регулирующих клапанов для отвода и контроля потока газа, системы вывода влаги и конденсата, а также системы мониторинга и контроля уровня и качества метана [5].

За счет правильного проектирования и конструктивных особенностей метаноуловителей для биогазовых установок можно достичь большей эффективности улавливания метана, уменьшить его выбросы в атмосферу и дополнительно использовать его в качестве возобновляемого источника энергии, предотвращая негативное воздействие на окружающую среду.

### **Источники**

1. Иванов, Д. В. Оборудование для использования свалочного газа / Д. В. Иванов, А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 690-692. – EDN DBWEAS.

2. Мустафина, Г. Р. Особенности конструкций реакторов для получения биотоплива / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СУМГАИТ, 12–13 ноября 2020 года. – СУМГАИТ: Сумгаитский государственный университет, 2020. – С. 277-280. – EDN JJVOBP.

3. Мустафина, Г. Р. Особенности применения биогазовой установки на птицефабрике / Г. Р. Мустафина, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2020. – № 2. – С. 38-40. – EDN FROXKA.

4. Иванов, Д. В. Оборудование для использования свалочного газа / Д. В. Иванов, А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 690-692. – EDN DBWEAS.

5. Ахметгалиев, И. Ф. К вопросу очистки биогаза сепарационным методом / И. Ф. Ахметгалиев, А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 400-403. – EDN WGHHMC.

УДК 620.92

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ КАЗАНСКОЙ ТЭЦ-2**

Владислав Геннадьевич Кашин

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Александр Евгеньевич Кондратьев

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

monmaison@mail.ru

**Аннотация.** Современная энергетика основывается на тепловых электрических станциях, которые являются краеугольным камнем производства свыше 65% мировой электроэнергии. Применение парогазовых установок с эффективным производством электрической энергии стало одним из наиболее привлекательных решений для достижения поставленных задач в сфере энергетики.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, подготовка газа, оптимизация, теплоснабжение, компрессор, теплоэлектростанция.

## **OPTIMIZATION OF OPERATION OF STEAM GAS PLANT OF KAZAN CHPP-2**

Vladislav G. Kashin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

monmaison@mail.ru



**Abstract.** Modern energy is based on thermal power plants, which are the cornerstone of the production of over 65% of the world's electricity. They produce more than 65% of all electricity in the world. Progress in thermal power engineering has become associated with solving problems of a rational balance between efficiency, economy, reliability, capital intensity and environmental friendliness. The introduction of combined cycle gas plants with highly efficient electricity production has become one of the most attractive solutions for achieving goals in the energy sector.

**Keywords:** combined cycle plant, gas treatment station, optimization, heat supply, booster compressor station, thermal power plant.

Новейшие исследования в теплоэнергетике и практический опыт свидетельствуют о том, что широкое развитие разнообразных парогазовых установок (ПГУ) является ключевым фактором в повышении эффективности тепловых электростанций, которые на сегодняшний день обеспечивают до 70% всей производимой электроэнергии [1]. В данной категории парогазовых установок особое место занимает установка с котлом-утилизатором, которая при использовании природного газа демонстрирует высокую эффективность, достигая коэффициента полезного действия до 60% [2]. Это оправдывает актуальность оптимизации энергоблоков ПГУ и сегодня, для чего необходимо предусмотреть установки дополнительной дожимной компрессорной станции (ДКС) с целью повышения надежности, безопасности и энергоэффективности блоков ПГУ КТЭЦ-2.

Работа существующих ДКС осуществляется по блочной схеме: расход одной ДКС равен потреблению газа одной ГТУ. Согласно РД 153-34.1-30.106-00 п.2.1.2.11 «при суммарном расходе газа до 50м<sup>3</sup>/ч количество дожимных компрессоров должно быть не менее двух, один из которых резервный» [3]. Для возможности выведения в резерв (в случае аварийной ситуации или ремонта) одной из существующих ДКС, без вывода из эксплуатации ГТУ, предусматривается применение дополнительной ДКС-3. ДКС представляет собой 2 сопряженных блок-контейнера, которые состоят из отсека компрессорного агрегата и герметичного отсека системы автоматического управления. Все отсеки оснащены системами жизнеобеспечения. В качестве дополнительной дожимной компрессорной станции предложена установка компрессорная центробежная контейнерного типа отечественного производства [4].

Для установки ДКС-3 предусматривается расширение территории пункта приготовления газа (ППГ). Расширяемая и существующая территории ППГ связаны между собой под существующей эстакадой

технологических трубопроводов. Расположение ППГ отвечает всем требованиям к минимальным расстояниям до зданий и сооружений электростанции [5].

Необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть характеристики и исследовать техническое состояние, существующих ДКС.

2. Для повышения надежности схемы работы ПГУ предложить вариант модернизации системы газоснабжения, который повысит эффективность и надежность ее работы.

3. Продемонстрировать результаты работы.

Таким образом, по проведенному исследованию технического состояния энергоблоков ПГУ КТЭЦ-2, характеристик и технико-экономических показателей было выявлено, что существующая рабочая схема газификации блоков не в полной мере позволяет обеспечить надежную работу станции. Следовательно, установка дополнительного дожимного компрессора является обязательной процедурой.

В итоге, благодаря усовершенствованию технического оборудования схемы работы ПГУ путем внедрения третьей дожимной компрессорной станции, по результатам работы добились повышения надежности и безопасности работы станции КТЭЦ-2.

### **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. РД 153-34.1-30.106-00 Правила технической эксплуатации газового хозяйства газотурбинных и парогазовых установок тепловых электростанций

3. Моделирование установки для балансировки ротора в программном комплексе ANSYS / И. Р. Тазеев, С. О. Гапоненко, А. Е. Кондратьев, А. Н. Замалиев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 5-6. – С. 75-83. – EDN XWBLYL.

4. 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.

5. Information-measuring system for monitoring the location of underground gas pipelines on the basis of improved acoustic resonance method / S. A. Nazarychev, S. O. Gaponenko, A. E. Kondratiev, R. Z. Shakurova // Journal of Physics: Conference Series : Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings, Kazan, 05–08 ноября 2018 года. Vol. 1328. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012055. – DOI 10.1088/1742-6596/1328/1/012055. – EDN YKMOMS.

УДК 532.542.4

## **ВЛИЯНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОТОКА В ШЕРОХОВАТЫХ ТРУБАХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАДЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ**

Илья Игоревич Клюкин

Науч. рук. к.т.н., доцент Айрат Рифкатович Загреддинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ilya.klyukinbkru.96@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние турбулентного потока в шероховатых трубах на изменение падения давления на выходе из трубы. Были смоделированы трубы разного диаметра с различными значениями относительной шероховатости.

**Ключевые слова:** турбулентный поток, шероховатость, ANSYS, число Рейнольдса.

## **THE EFFECT OF TURBULENT FLOW IN ROUGH PIPES ON THE CHANGE IN PRESSURE DROP**

Ilya I. Klyukin

KSPEU, Kazan

Ilya.klyukinbkru.96@mail.ru

**Abstract.** The article considers the influence of turbulent flow in rough pipes on the change in pressure drop at the outlet of the pipe. Pipes of different diameters with different values of relative roughness were modeled.

**Keywords:** turbulent flow, roughness, ANSYS, Reynolds number.

В гладких трубах потери на трение полностью определяются числом Рейнольдса. В шероховатых трубах потери зависят не только от числа

Рейнольдса, но и от так называемой относительной шероховатости ( $\frac{k}{r_0}$ )[1],

поскольку одна и та же абсолютная шероховатость может не влиять на сопротивление большой трубы и значительно увеличивать сопротивление маленькой[2]. Простейшим случаем шероховатости является тот, при котором все выступы имеют одинаковую форму и размер. В случае равномерной зернистой шероховатости коэффициент трения зависит от числа Рейнольдса и от относительной шероховатости[3].

Были смоделированы трубы разного диаметра с разными значениями относительной шероховатости в универсальной программной системе анализа методом конечных элементов ANSYS, данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Диаметр	$\delta$	Re	$\frac{k}{r_0}$	Падение давления [Па]	$\frac{k}{r_0}$	Падение давления [Па]	$\frac{k}{r_0}$	Падение давления [Па]
0.02	0.5	5580	0.07	266	0.002	102	0	102
0.03	0.5	8370	0.07	181	0.002	64	0	64
0.04	0.5	11160	0.07	127	0.002	47	0	47
0.05	0.5	13950	0.07	98	0.002	37	0	37
0.06	0.5	16741	0.07	79	0.002	30	0	30
0.09	2	100446	0.07	1082	0.002	337	0	218
0.09	3	150669	0.07	2435	0.002	800	0	451



Рис.1. Изменение давление шероховатых трубопроводов разного диаметра при числе Рейнольдса менее 100000

Как видно из рисунка 1 при числе Рейнольдса меньше 100000 малые значения шероховатости не влияют на падение давления[4].

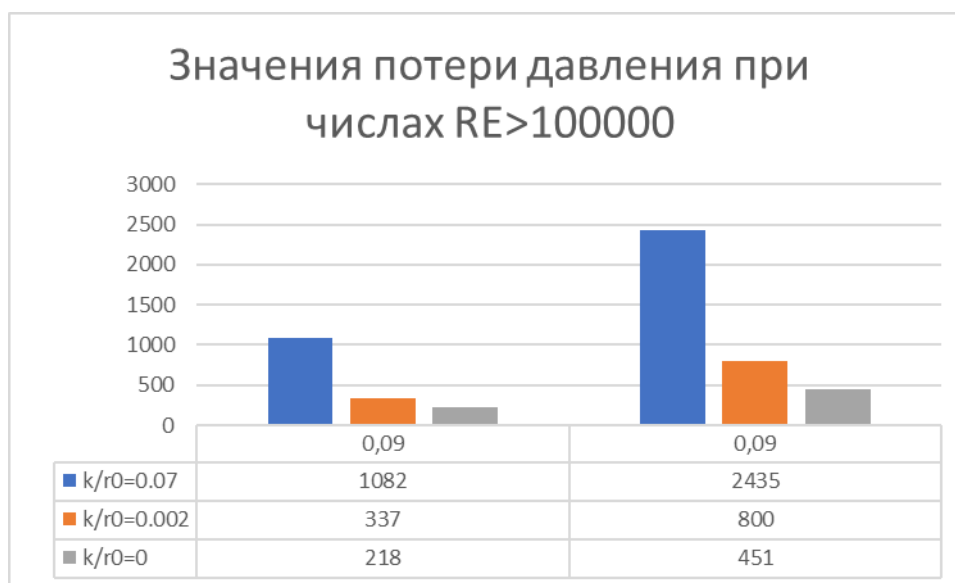


Рис.2. Изменение давление шероховатых трубопроводов разного диаметра при числе Рейнольдса менее 100000

Как видно из рисунка 2 в случае, когда число Рейнольдса более 100000 малые значения шероховатости влияют на падение давления в трубах[5].

Из всего выше сказанного можно сделать следующий вывод:

В области турбулентных течений при небольших числах Рейнольдса и малой шероховатости падение давления от шероховатости не зависит, а с увеличением числа Рейнольдса возрастает.

### Источники

1. Nikuradse J. Gesetzmäßigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Rohren. // Forschungsheft 356. Beilage zu “Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens”, Ausgabe B, Bd. 3, Berlin, 1932, S.1-36
2. Nikuradse J. Strömungsgesetze in rauhen Rohren. // Forschungsheft 361. Beilage zu “Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens”, Ausgabe B, Bd. 4, Berlin, 1933, S.1- 22
3. Кутателадзе, С. С. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое / С. С. Кутателадзе, А. И. Леонтьев. – М.: Энергия, 1972. – 344 с.

4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва, Наука, 1970, 904 с

5. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. Москва, Мир, 1964, 655 с.

УДК 620.91

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Кирилл Вадимович Коныжов

Науч. рук. кан. техн. наук, доцент. Александр Евгеньевич Кондратьев

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

Konizhov.kirill@mail.ru

**Аннотация.** Большинство промышленных производств предусматривают предварительный нагрев жидкостей перед их непосредственным использованием в технологических процессах или операциях агрегата. Здесь возможно применение тепловых насосов с низкопотенциальным источником тепла для разгрузки котлов за счет снижения потребления пара и прямой помощи в экономии на текущих расходах.

**Ключевые слова:** тепловой насос, применение, источник энергии, нагрев, технологические процессы.

## APPLICATION OF HEAT PUMPS

Kirill K. Vadimovich

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Konizhov.kirill@mail.ru

**Abstract.** Most industrial productions provide preheating of liquids before their direct use in technological processes or operations of the unit. Here it is possible to use heat pumps with a low-potential heat source to unload boilers by reducing steam consumption and directly helping to save on running costs.

**Keywords:** heat pump, application, energy source, heating, technological processes.

Тепловой насос – это инновационное устройство, которое позволяет эффективно перемещать тепловую энергию от низкотемпературных источников к высокотемпературным поглотителям, используя внешний источник энергии. Они превосходно подходят для систем отопления и охлаждения, снижая затраты на электроэнергию [1-3]. Тепловые насосы не

сжигают топливо, а лишь передают тепло, что помогает уменьшить выбросы парниковых газов в различных отраслях промышленности. Кондиционеры и морозильные камеры – лишь некоторые примеры применения этих инновационных устройств.

Все тепловые насосы основаны на использовании хладагента в качестве переходной жидкости, которая поглощает тепло в испарителе и отдаёт его в конденсаторе. Хладагент циркулирует по изолированным трубам между этими компонентами, обеспечивая эффективную передачу тепловой энергии.

Использование тепловых насосов в химической промышленности ограничено, несмотря на их огромные преимущества [4]. Использование тепловых насосов позволяет значительно сэкономить энергию и деньги. Хотя тепловые насосы могут иметь более низкие затраты на топливо, чем обычные системы отопления и охлаждения, их покупка обходится дороже, но также очень важно понимать, что тепловые насосы будут наиболее экономичными при использовании круглый год. Как правило, тепловые насосы, используемые в промышленности, начинают окупаться примерно через 1,5-2 года после их установки, в зависимости от их использования [5].

Тепловые насосы могут применяться во всевозможных сегментах рынка и народного хозяйства. Некоторые из его применений четко указаны ниже [6]:

- Применение на рынке: Рестораны, гостиницы, оздоровительные клубы, спа-салоны, больницы и т.д
- Холодное оборудование: кондиционирование воздуха и охлаждение питьевой воды
- Горячее водоснабжение: подогрев воды, канализации и т.д
- Промышленное применение: Молочная, фармацевтическая, текстильная, пищевая промышленность и холодильные камеры и т.д
- Холодное оборудование: кондиционирование воздуха, технологическое охлаждение и охлаждение питьевой воды.
- Горячее водоснабжение: технологический нагрев, предварительный подогрев питательной воды для котла, сушка, жидкий осушитель.

Но, несмотря на все преимущества, использование тепловых насосов в некоторых отраслях промышленности по-прежнему ограничено. Чтобы повысить доступность и эффективность этой технологии, важно продолжать развивать и совершенствовать ее.

В целом, использование тепловых насосов является важным шагом на пути к созданию более энергоэффективной и экологически чистой

системы отопления и охлаждения. Их использование позволяет снизить потребление энергии, сократить выбросы парниковых газов и создать более комфортные условия для жизни и работы.

### Источники

1. 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.

2. Гатауллина, И. М. Применение теплового насоса для утилизации снежной массы в городских условиях / И. М. Гатауллина, А. Е. Кондратьев // 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. 82-85. – EDN FXZZBA.

3. Даутов, Р. Р. Экологические аспекты применения тепловых насосов в индивидуальном отоплении / Р. Р. Даутов, А. Е. Кондратьев // Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование : Международная научно-техническая конференция. Электронный сборник научных статей по материалам конференции В 3-х томах, Алматы, Казань, 20–21 октября 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 192-195. – EDN TTETWR.

4. Глухова, П. Е. Тепловой насос как экологически безопасный источник тепловой энергии / П. Е. Глухова, А. Е. Кондратьев // Энергетика и энергосбережение: теория и практика : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Кемерово, 07–09 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 122-1-122-4. – EDN ATNLCD.

5. Даутов, Р. Р. Особенности применения теплового насоса для систем теплоснабжения в Республике Татарстан / Р. Р. Даутов, А. Е. Кондратьев // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VI Национальной научно-практической конференции. В двух томах, Казань, 10–11 декабря 2020 года. Том 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 410-412. – EDN BOWICU.



6. Ильясова, Г. Р. Применение аккумуляторов тепла в России / Г. Р. Ильясова, А. Е. Кондратьев // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2016. – № 2. – С. 188-190. – EDN YGGXUP.

УДК 620.9

## ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ МНОГОСЛОЙНУЮ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЮ

Максим Дмитриевич Крайков<sup>1</sup>, Камиля Расуловна Гафиатуллина<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Юрий Витальевич Ваньков

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

<sup>1</sup>maksim\_kraikov@mail.ru, <sup>2</sup>Kgafiatullina@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлен лабораторный стенд для исследования теплопередач через многослойную теплоизоляцию.

**Ключевые слова:** аэрогель, теплоизоляция, многослойная теплоизоляция, ARDUINO, терморегулятор, ЛАТР.

## LABORATORY STAND FOR THE STUDY OF HEAT TRANSFER THROUGH MULTILAYER THERMAL INSULATION

Maksim D. Kraikov<sup>1</sup>, Kamilya R. Gafiatullina<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>maksim\_kraikov@mail.ru, <sup>2</sup>Kgafiatullina@yandex.ru

**Abstract.** The article presents a laboratory stand for the study of heat transfer through multilayer thermal insulation.

**Keywords:** aerogel, thermal insulation, multilayer thermal insulation, ARDUINO, thermostat, LATR.

В настоящее время существует проблема с энергосбережением предприятий, которые производят тепловую энергию. Не всегда применение традиционной тепловой изоляции помогает в решении данной проблемы, применение многослойной теплоизоляции позволит уменьшить потери тепловой энергии.

В связи с этим было принято решение о создании лабораторного стенда для исследования теплопередачи через многослойную

теплоизоляцию. Стенд позволит имитировать работу трубопровода, благодаря чему появляется возможность подойти с экспериментальной точки зрения к выбору теплоизоляции на оборудования и трубопроводы [1].

Стенд включает в себя: ЛАТР РНО 250-2, терморегулятор REX-C100 Relay, Arduino UNO с макетной платой и преобразователями сигнала с термопар из аналогового в цифровой MAX6675, металлическая труба 200 мм в диаметре и 600 мм длиной, греющий кабель ЭНГЛУ 400, датчик теплового потока и термопары [2].

Процесс сборки и работы лабораторного стенда: к терморегулятору подключается термопара, которая будет фиксировать значения температуры на нем, терморегулятор в паре с подключенным ЛАТРОм запитывается от сети 220 Вольт, чтобы была возможность при достижении нужной температуры выставив гистерезис.

Далее следует сборка Arduino UNO со всеми компонентами и написанием кода. На макетную плату устанавливаются датчики MAX6675, к ним же подключаются термопары и датчик теплового потока, плата же в своё время подключена к ПК, где пишется код и загружается на Arduino.

Внутри трубы устанавливается греющий кабель ЭНГЛУ 400. Важно, чтобы кабель был равномерно размещен внутри трубы по спирали. Позже на сам участок трубы устанавливается теплоизоляция.

К теплоизоляционным материалам устанавливаются термопары и датчик теплового потока с платы Arduino UNO, одна термопара идёт внутрь трубы, а остальные на 12, 3, 6, 9 часов, термопара от терморегулятора идёт на поверхность трубы, чтобы была возможность поддерживать данную температуру в течении долгого времени посредством включения и выключения ЛАТРа. На ЛАТРе выставляется 220 Вольт и после того, как всё выставлено на экспериментально образце, включается программа на Arduino PLX-эксель, которая будет фиксировать показатели значений в Excel-таблицу [3].

В работе было проведено исследование по определению температуры на поверхности тепловой изоляции в зависимости от температуры нагреваемой трубы. В качестве объектов исследования использовались минеральная вата и аэрогелевое полотно толщиной 150 мм и 10 мм, соответственно. Результаты измерений представлены на рисунке 1, где верхний ряд диаграммы — это минеральная вата, а нижний ряд — это аэрогель [4].

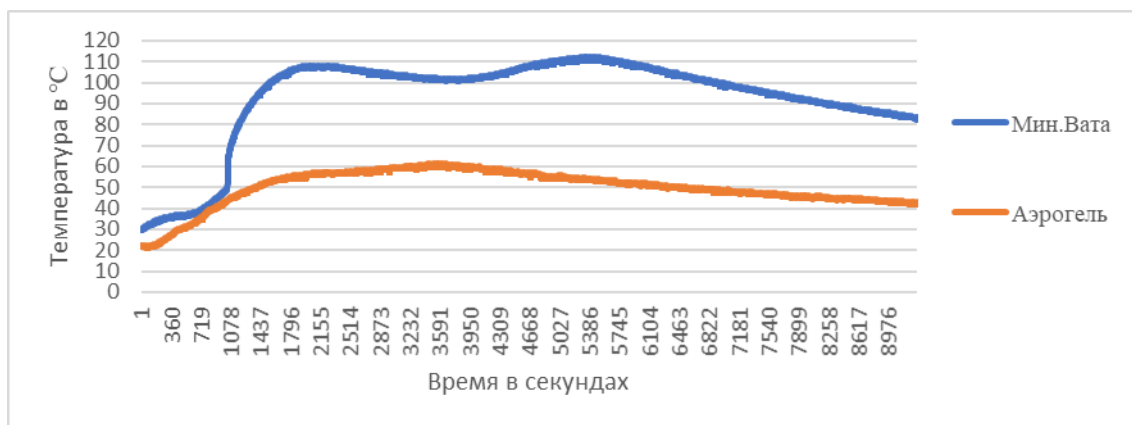


Рис. 1. Зависимости температуры на поверхности теплоизоляционного слоя от температуры нагреваемой трубы

При постоянном тепловом нагреве в 250 °С температура на поверхности аэрогелевой изоляции составила 61 °С, минераловатной - 112 °С [5].

Таким образом можно сделать вывод о практической значимости лабораторного стенда.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 075-03-2023-291/1

### Источники

1. К вопросу о методике расчёта тепловых потерь в сетях централизованного теплоснабжения // РосТепло: сайт. – URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3386](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3386) (дата обращения: 31.10.2023)
2. Гапоненко С. О., Фазлиев Р. А., Калинина М. В., Метод повышения эффективности тепловой изоляции трубопроводов // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 2(50). С. 142-147.
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: 31.10.2023).
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. Аппаратное обеспечение платы Arduino Uno и назначение ее компонентов // Мир микроконтроллеров URL: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/apparatnoe-obespechenie-platy-arduino-uno-i-naznachenie-ee-komponentov/> (дата обращения: 31.10.2023).

## **РЕКОНСТРУКЦИЯ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ В МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК**

Илья Валериевич Кузнецов

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Ю.Н. Звонарева

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

iliakuznetcov69@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается механизм реконструкции отопительных котельных в мини-ТЭЦ на базе газотурбинных установок.

**Ключевые слова:** когенерация, энергоэффективность, газотурбинная установка, теплоснабжение, мини-ТЭЦ.

## **RECONSTRUCTION OF HEATING BOILERS IN MINI-CHP ON THE BASIS OF GAS TURBINE UNITS**

Iliia V. Kuznetcov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

iliakuznetcov69@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the mechanism of reconstruction of heating boilers in mini-CHP on the basis of gas turbine installations.

**Keywords:** cogeneration, energy efficiency, gas turbine installation, heat supply, mini-CHP.

В России мини-ТЭЦ, которые одновременно производят тепло и электричество, пока не так распространены, как за рубежом. Тем не менее, использование газовых турбин в качестве источника электроэнергии в котельных помогает сэкономить энергию и повысить надежность оборудования [1].

В современных условиях энергетической нестабильности и необходимости сокращения затрат на электроэнергию, создание и использование мини-ТЭЦ на базе газотурбинных установок становится все более актуальным. Они представляют собой небольшие энергетические комплексы, способные обеспечить независимую подачу электроэнергии для всей производственной площадки.

Одним из основных преимуществ мини-ТЭЦ является возможность использования излишков вырабатываемой электроэнергии. Это позволяет не только покрыть потребности предприятия в тепле, но и значительно снизить затраты на электроэнергию, а также повысить надежность всей электрической системы. Кроме того, малые ТЭЦ обладают высокой степенью автоматизации процессов, что существенно упрощает и облегчает эксплуатацию и обслуживание системы.

Однако, помимо экономических преимуществ, мини-ТЭЦ также имеют положительное воздействие на окружающую среду. Благодаря использованию газотурбинных установок, эти энергетические комплексы имеют низкий уровень выбросов и малое воздействие на окружающую атмосферу. Это значительно снижает негативное воздействие на экологию и способствует улучшению экологической обстановки в районе производственной площадки [2].

Разработка газовых турбин и оптимизация их производства позволили создать мини-ТЭЦ, которые не только энергоэффективны, но и экономически выгодны. В сравнении с крупными источниками энергии, стоимость производства таких установок значительно ниже [3].

Одним из преимуществ мини-ТЭЦ является их быстрое строительство и установка. Процесс занимает от 2 до 6 месяцев, что существенно сокращает время между принятием решения о создании установки и началом ее эксплуатации.

Интересно отметить, что использование газотурбинных установок в котельных с паровыми и водогрейными котлами дает экономическую выгоду в 10-30% по сравнению с мощностью внешних электрических сетей за счет более дешевого производства электроэнергии из собственного источника [4].

Строительство местных малых тепловых электростанций и реконструкция существующих котельных являются одним из очень перспективных направлений в энергетическом секторе. Это позволяет быстро и недорого решить проблему нехватки энергии, усилить конкуренцию и способствовать развитию отрасли. Интересно, что такие малые тепловые электростанции можно устанавливать в любом помещении и любом здании котельной без необходимости проведения значительных строительных работ.

Комбинированное производство электрической и тепловой энергии становится все более популярным, и это неудивительно. Ведь такой подход эффективно решает две проблемы сразу - обеспечивает электроэнергией и теплом. Мини-ТЭЦ, оснащенные новейшими

технологиями, могут быть установлены в любых местах и обеспечивать снабжение энергией малых населенных пунктов, промышленных объектов и даже отдельных домов. Это приводит к диверсификации источников энергии и повышению независимости от крупных энергетических систем.

Малые ТЭЦ обладают рядом преимуществ по сравнению с крупными электростанциями. Во-первых, они гораздо более гибкие и могут быть легко установлены в непосредственной близости к потребителям энергии. Это позволяет сократить потери энергии при транспортировке и обеспечить более эффективное использование ресурсов. Во-вторых, малые энергетические установки могут использовать различные виды топлива, включая возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия. Это делает их более экологически чистыми и энергоэффективными.

Однако, чтобы реализовать потенциал малых ТЭЦ, необходимо правильное планирование и поддержка отрасли со стороны правительства и руководства. Без этого, развитие малых энергетических установок будет затруднено, а положительный экономический эффект не будет достигнут. Поэтому, важно создать структурный план и предоставить необходимую поддержку, чтобы стимулировать развитие малых ТЭЦ и обеспечить надежное и эффективное энергоснабжение [5].

### **Источники**

1. Семенцова, А.М. Обоснование необходимости перехода от центрального отопления к мини-ТЭЦ // Аллея науки. 2019. Т. 3. № 1(28). С. 157-160.

2. Сарафанова, Ю.В., Филипов В.В. Использование мини-ТЭЦ в котельной для производства электрической энергии на собственные нужды // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 26. С. 1452-1457.

3. Яхина, Л. Т. Применение мини-ТЭЦ в РТ // Актуальные проблемы науки в студенческих исследованиях: Сборник материалов VII Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Альметьевск. 11–12 мая 2017 года. Под общей редакцией С.В. Юдиной. – Альметьевск: Издательство "Перо". 2017. С. 101-102.

4. Буланин В.А. Использование газовых турбин для комбинированного производства энергии // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020. №1. С. 8-18.

5. Латыпов Р.М., Волков М.А. Оценка эффективности комбинированного производства тепловой и электрической энергии на мини-ТЭЦ (мини-теплоэлектроцентралях) // Наука и образование: новое время. 2019. № 1(30). С. 56-64.

УДК 621.311.4-52

## **МИНИ-ТЭЦ НА ОСНОВЕ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ НК-16-18 СТ**

Марина Сергеевна Новоселова

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Юрий Витальевич Ваньков

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

nova-mara0607@list.ru

**Аннотация.** В настоящее время все более актуальными становятся вопросы, касающиеся малой распределенной энергетики, частью которой является мини-ТЭЦ. Рассчитав эффективный КПД и удельный расход топлива при изменении электрической мощности и температуры окружающей среды, сделано заключение о возможности применения в качестве основы для такой ТЭЦ ГТУ типа НК-16-18 СТ.

**Ключевые слова:** малая распределенная энергетика, мини-ТЭЦ, газотурбинная установка.

## **MINI-HPS THE BASIS OF GAZ TURBINE PLANT NK-16-18 ST**

Marina S. Novoselova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

nova-mara0607@list.ru

**Abstract.** Currently, issues related to small-scale distributed generation, of which mini-HPS is a part, are becoming more and more urgent. Calculating the effective efficiency factor and unit fuel consumption with changes in electrical power and ambient temperature, it was concluded that a gas turbine plant of the NK-16-18 ST type could be used as a basis for such a HPS.

**Keywords:** small-scale distributed generation, mini-HPS, gas turbine plant.

Малая распределенная генерация подразумевает под собой децентрализованную генерацию мощностью до 25 МВт вблизи объектов снабжения. Данный подход к обеспечению населения энергией имеет ряд

преимуществ: снижение потерь, происходящих вследствие транспортировки электричества и тепла; надежность энергоснабжения; привлекательность для инвестиций. Развитие малой энергетики имеет также некоторые последствия, связанные с децентрализацией: усложнение энергосистемы; изменение принципов планирования и развития энергетики; необходимая корректировка модели рынка электроэнергетики [1, 2].

Частью распределенной энергетики является мини-ТЭЦ, основой которой может быть газотурбинная установка малой мощности. Такая ТЭЦ способна снабжать тепловой и электрической энергией жилой комплекс либо небольшой населенный пункт [3].

Целью данной работы является определение основных параметров работы газотурбинной установки мощностью 18 МВт при работе в составе малой тепловой электростанции при переменных нагрузках и при изменении температуры наружного воздуха.

Базой для малой ТЭЦ может послужить ГТУ типа НК-16-18 СТ, состоящая из входного устройства, компрессоров низкого и высокого давления, камеры сгорания, турбины низкого и высокого давления, а также силовой турбины, электрогенератора и выходного устройства. Установка обладает следующими рабочими характеристиками: номинальной мощностью, равной 18 МВт, при расходе воздуха 102 кг/с и температуре в камере сгорания 874°C [4]. Сама мини-ТЭЦ будет иметь в составе основного оборудования непосредственно ГТУ данного типа и утилизационный теплообменник, охлаждающий выхлопные газы установки и вырабатывающий при этом энергию для теплоснабжения.

Полученные путем расчета в АС ГРЭТ основные характеристики ГТУ типа НК-16-18 СТ представлены на рисунках 1 и 2 [5].

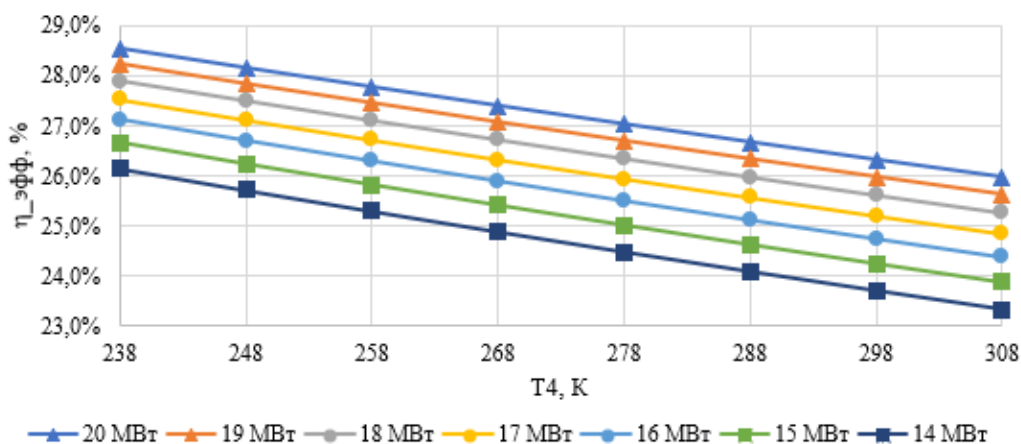


Рис. 1. Эффективный КПД ГТУ в зависимости от температуры наружного воздуха и вырабатываемой электрической мощности



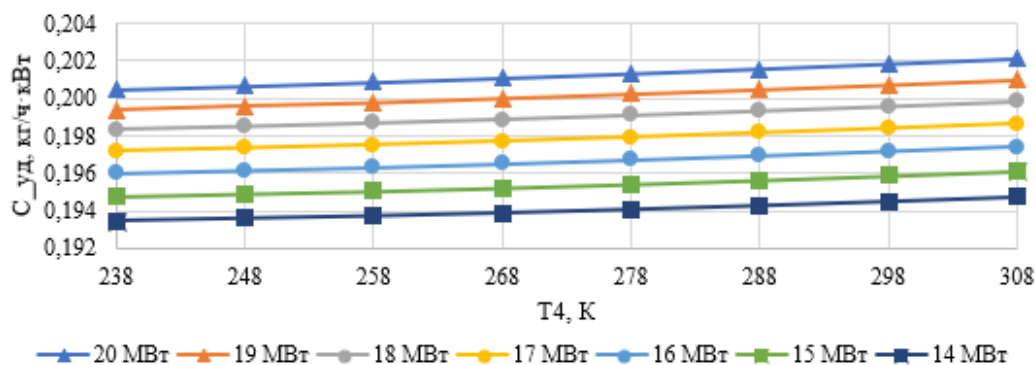


Рис. 2. Удельный расход топлива ГТУ в зависимости от температуры наружного воздуха и вырабатываемой электрической мощности

Рассматривая возможность применения газотурбинной установки НК-16-18 СТ в качестве основы для мини-ТЭЦ можно определенно сказать, что данная установка обеспечивает эффективную выработку энергии при пониженных нагрузках, а также экономичную работу на повышенных нагрузках, что позволит применять газотурбинную установку для покрытия потребности в электроэнергии в диапазоне температур наружного воздуха в диапазоне от  $-35$  до  $+35$  °С.

### Источники

1. Потапов, А. А. Актуальна ли малая распределённая энергетика в России? // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2023. – Т. 2. – С. 33-38.
2. Филиппов, А. Ю. Распределённая энергетика // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : Материалы научной конференции, посвященной Дню Российской науки, Омск, 08 февраля 2019 года / Омский государственный университет путей сообщения. – Омск: ОмГУПС, 2019. – С. 335-342.
3. Клевко А.Г. Мини-ТЭЦ: основные преимущества и барьеры для их внедрения // Достижения вузовской науки. 2015. №16.
4. Новоселова, М. С. Оценка эксплуатационных характеристик ГТУ типа НК-16-18 СТ // 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: КГЭУ, 2023. – С. 730-733.
5. Титов, А. В. Инструментальная среда для исследования газотурбинных установок на математических моделях // Вестник

УДК 697.34

## **СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ТЕПЛОПOTЕРЬ НА ТЭС И АЭС С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

Ильназ Илмирович Садретдинов

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

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

tenekfox@gmail.com

**Аннотация.** В статье предложен способ снижения теплопотерь в контурах теплоносителей с помощью использования вакуумных трубопроводов, для которых рассчитываются теоретические характеристики, необходимые для полноценного функционирования, и так же вывод о том, насколько это эффективная технология.

**Ключевые слова:** теплоноситель, вакуум, изоляция, трубопровод, теплообмен, энергоэффективность.

## **A METHOD FOR REDUCING HEAT LOSS AT THERMAL POWER PLANTS AND NUCLEAR POWER PLANTS BY USING VACUUM INSULATION**

Ilnaz I. Sadretdinov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

tenekfox@gmail.com

**Abstract.** The article suggests a way to reduce heat loss in the coolant circuits by using vacuum pipelines, for which the theoretical characteristics necessary for full functioning are calculated, and also a conclusion about how effective this technology is.

**Keywords:** heat carrier, vacuum, insulation, pipeline, heat exchange, energy efficiency.

Считается, что помимо турбины и конденсатора причинами потерь тепловой энергии являются трубопроводы, соединяющие между собой составные части энергетического комплекса. В основном это связано с тем,

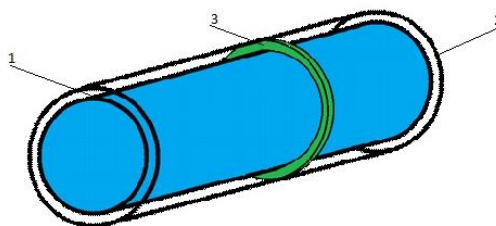
что теплоизолирующий материал трубопровода не является абсолютным изолятором, вследствие чего он переносит тепло во внешнюю среду.

Теплопотери в трубопроводе так же зависят и от его длины, и диаметра, так как он является по своей конструкции цилиндром, внешняя площадь которого  $S = \pi D l$ , где  $S$  площадь поверхности трубопровода,  $\pi$  – число «пи»,  $D$  – диаметр трубопровода,  $l$  – длина трубопровода. Сами же теплопотери через ограждающие конструкции рассчитываются по формуле

$$Q = \frac{S \Delta T}{R};$$

где,  $S$  – площадь поверхности трубопровода,  $\Delta T$  – разность температур внешней среды и теплопровода,  $R$  – значение теплового сопротивления теплопровода.

Для того, чтобы сделать теплопотери минимальными предлагается технология, с использованием вакуумной системы трубопроводов. Для этого представлена структура части трубопровода (см. рис).



Структура части трубопровода: 1 – внутренняя оболочка трубопровода, 2 – внешняя оболочка трубопровода, 3 – теплоизоляционное кольцо.

Трубопровод делится на отдельные части, которые свариваются на весь период эксплуатации для герметичности системы. Пространство между оболочкой 1 и оболочкой 2 общее для всего трубопровода, и ничем не заполнено, являясь вакуумом. Внутреннюю и внешнюю оболочку соединяют теплоизоляционные кольца 3, изготовленные из реактопластов, которые располагаются на некотором расстоянии друг от друга. Таким образом теплопередача происходит только через кольца, которые являются конструктивным недостатком данной технологии.

Рассчитаем толщину оболочки 1 сделанной из углеродистой стали марок Ст. 2, Ст. 4, Ст. 5 и 10 для бесшовных труб по ГОСТ (8731-8734)-58 [2][4], работающих при  $P_{\text{раб}} = 22 \text{ кг/см}^2$  и  $t < 300^\circ \text{ C}$ . Для этого воспользуемся специальным калькулятором для расчета толщины трубы от действия давления.

При имеющихся параметрах  $p = 2.25878802712 \text{ МПа}$ ,  $T = 300^\circ \text{ C}$ ,  $D_{\text{внутр}} = 30.94 \text{ мм}$ , Ст. 10,  $[\sigma] = 100 \text{ МПа}$ , минусовой допуск к толщине = 0.15 мм, Прибавка на коррозию = 1 мм, толщина оболочки 1 –  $S = 1.53 \text{ мм}$  [5]. Ввиду вакуума расчеты произведены с учетом отсутствия внешнего давления.

Теплопотери же, связанные с теплопередачей, проходят только через опорные кольца. Будем считать, что для колец используется материал ТЗМКТ-8. Его теплопроводность  $\lambda = 0,407 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  [1]. Толщина кольца  $l = 10 \text{ мм}$ , площадь поверхности теплообмена  $S = 133 \text{ мм}^2$ . По формуле

$$R = \frac{l}{\lambda S};$$

$R = 184.737 \text{ К/Вт}$  [3]. Теперь рассчитаем  $Q$  для одного кольца по формуле

$$Q = \frac{S \Delta T}{R};$$

Пусть  $\Delta T = 285 \text{ К}$ , тогда  $Q = 0.0002 \text{ Вт}$ .

Таким образом технология вакуумных трубопроводов является эффективной с теоретической точки зрения, однако стоит более подробно изучить данную тему для того, чтобы убедиться в перспективности данной технологии.

### Источники

1. Койтов С.А., Мельников В.Н. Исследование теплоемкости, теплопроводности гетерофазных композиционных теплозащитных материалов с непрерывной полимерной фазой // Вестник ЮУрГУ, №12, 2012 С. 182 – 186. (дата обращения: 28.10.23).

2. Марки сталей для стационарных трубопроводов ТЭС [Электронный ресурс]. <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/truboprovody-i-armatura-tes/Page-7.html> (дата обращения: 28.10.23).

3. Thermal Resistance Calculator [Электронный ресурс]. <https://calculator.academy/thermal-resistance-calculator> (дата обращения: 28.10.23).

4. Нормы технологического проектирования стационарных трубопроводов ТЭС [Электронный ресурс] <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/truboprovody-i-armatura-tes/Page-11.html> (дата обращения: 28.10.23).

5. Расчет трубы на прочность ON-LINE [Электронный ресурс]. <https://stresscalc.ru/boiler/boiler.php> (дата обращения: 28.10.23).

УДК 628.122

## АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Константин Сергеевич Сорокин<sup>1</sup>, Артем Степанович Гаврилов<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, доцент Сергей Олегович Гапоненко

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

<sup>1</sup>[Kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru](mailto:Kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены два наиболее распространенных метода решения проблемы транспортировки жидкости, а именно проблема поддержания стабильного напора в системах теплоснабжения и водоснабжения. Представлены принципы работы мембранных расширительных баков и систем автоматического поддержания давления. Выявлены основные принципиальные отличия.

**Ключевые слова:** Водоснабжение, теплоснабжение, мембранный расширительный бак, МРБ, автоматическая установка поддержания давления, АУПД

## ANALYSIS AND COMPARISON OF PRESSURE MAINTENANCE SYSTEMS.

Konstantin S. Sorokin<sup>1</sup>, Artem S. Gavrillov<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>[Kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru](mailto:Kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru)

**Abstract.** The article discusses two of the most common methods of solving the problem of liquid transportation, namely, the problem of maintaining a stable pressure in heating and water supply systems. The principles of operation of membrane expansion tanks and automatic pressure maintenance systems are presented. The main fundamental differences are revealed.

**Keywords:** Water supply, heat supply, membrane expansion tank, MRB, automatic pressure maintenance unit, AUPD

В современных условиях стремительно развивающегося общества и технологий, стабильно возрастает потребность как в промышленном строительстве, так и в гражданском. Увеличиваются масштабы потребления энергоресурсов, а где большое потребление, там необходим строгий контроль и стабильность. Главным ресурсом, без которого не обходится практически ни одна сфера деятельности человека, является вода. Вода, является наиболее распространенным ресурсом и имеет наивысшую теплоемкость, в результате чего, уже длительное время используется для генерации и транспортировки тепловой энергии.

Невозможно представить жизнь современного общества без системы отопления или водоснабжения. Но с ростом численности населения, строительством все большего количества высотных, многоквартирных зданий, появляется все больше проблем, которые снижают эффективность и стабильность этих систем [1]. Это может сказываться как на качестве жизни человека, так и на техническом состоянии оборудования.

Рассмотрим влияние на жизнедеятельность человека. Основной проблемой высоких и многоквартирных домов является снижение напора на верхних этажах здания или при одновременном скачке потребления.

С технической стороны, снижение давления в обратном трубопроводе может приводить к выходу из строя оборудования. К кавитации на лопастях, роторе и в трубопроводе, гидроударам и завоздушиванию системы [2].

Существует несколько вариантов решения данных проблем.

Первый – это установка мембранных расширительных баков (МРБ). Конструктивное исполнение МРБ представлено в виде простейшего узла, В состоящий из: эластичной мембрана, отделяющая 2 различные среды (газовую и жидкостную) и стального корпуса [3]. При появлении в системе избыточного давления при температурном расширении теплоносителя, его часть поступает в расширительный бак, растягивая мембрану и вытесняя часть газов, тем самым стабилизируя систему. А в обратном случае, при снижении объема и давлении в системе, под воздействием мембраны, теплоноситель выталкивается обратно в систему [4]. Представленный способ решения не лишен своих значительных недостатков. При увеличении исходного объема системы или давления, значительно увеличиваются габариты баков. Так для жилого дома могут потребоваться десятки баков объемом до 3000 литров.

Второй – автоматическая установка поддержания давления (АУПД). По сравнению с МРБ, АУПД является более наукоемкой и технически сложной системой, но при этом она выполняет большее количество задач и является более экономичной.

АУПД состоит из нескольких частей: насосов, которые нагнетают давление. Регулирование происходит путем включения или выключения агрегатов и изменением мощности их работы; Запорно-регулирующей арматуры; Контрольно-измерительной арматуры (КИП); Контроллера, который осуществляет управление насосами и арматурой, основываясь на показаниях КИП; Демпферных и основных баков, позволяющих избежать гидроударов и стабилизировать работу установки [5].

Главными преимуществами АУПД являются:

- Стабильное давление: АУПД гарантирует, стабильность давления в системе.

- Экономия энергии: Автоматическое управление позволяет оптимизировать работу насосов.

- Защита системы водоснабжения: Стабильное давление помогает защитить систему водоснабжения от гидроударов и скачков давления.

- Простота использования: Не требуют ручного вмешательства для регулировки давления.

- Улучшение качества воды: Непрерывная дегазация за счет гидравлической калибровки моторизованных шаровых кранов.

Автоматические установки поддержания давления являются наиболее оптимальными решениями для стабильной и долговечной работы систем циркуляции теплоносителей.

### **Источники**

1. Кузнецов, П. С. Проблемы в системах водоснабжения и водоотведения и подходы к их решению / П. С. Кузнецов // Аллея науки. – 2022. – Т. 1, № 7(70). – С. 119-121. – EDN OWZOUY.

2. Коновалов, А. В. Безопасность функционирования водогрейной котельной установки / А. В. Коновалов, М. А. Коновалов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1. – С. 50-53. – EDN NZWQCH.

3. Кунеевский, В. В. Расширительный бак мембранного типа / В. В. Кунеевский, Р. И. Вахитова // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли : материалы Международной научно-практической конференции, Альметьевск, 25–28 октября 2017 года /

Альметьевский государственный нефтяной институт. Том 3. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2018. – С. 13-15. – EDN YQWWDT.

4. Коновалов, А. В. Безопасность функционирования водогрейной котельной установки / А. В. Коновалов, М. А. Коновалов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1. – С. 50-53. – EDN NZWQCH.

5. Патент № 2724400 С1 Российская Федерация, МПК F28F 27/00. Автоматическая установка по поддержанию давления : № 2019133592 : заявл. 22.10.2019 : опубл. 23.06.2020 / С. Е. Беликов, Ю. Б. Хохряков ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Антал". – EDN GHLCVY.

УДК 662.994

## **РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С ГЛУБОКОЙ УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ**

Э.В. Сулейманов

Науч. рук. кандидат техн. наук, доц. Р.Н. Закиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elnar.sulejmanov@mail.ru

**Аннотация.** Целью работы является изучение тепловой схемы парогазовой установки с глубокой утилизацией теплоты уходящих газов. В результате исследований были рассмотрены различные способы утилизации теплоты уходящих газов, а также рассмотрена тепловая схема парогазовой установки с конденсационным котлом утилизатором.

**Ключевые слова:** Парогазовая установка, теплота уходящих газов, когенерация, конденсационный котел утилизатор.

## **DEVELOPMENT OF A THERMAL CIRCUIT FOR A COMBINED CYCLE PLANT WITH DEEP RECOVERY OF EXHAUST GAS HEAT**

E.V. Suleymanov

KSPEU, Kazan, Russia

elnar.sulejmanov@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the work is to study the thermal diagram of a combined cycle plant with deep utilization of heat from exhaust gases. As a result of the research,



various methods of utilizing the heat of flue gases were considered, and the thermal diagram of a combined cycle plant with a condensing heat recovery boiler was also considered.

**Keywords:** Combined-cycle plant, heat of flue gases, cogeneration, condensing waste heat boiler.

Парогазовые установки являются одним из наиболее эффективных способов производства электроэнергии и тепла. Они основаны на совместном использовании пара и газа для генерации энергии. Однако, в процессе сжигания топлива в газовых турбинах и двигателях внутреннего сгорания, значительное количество теплоты уходит в окружающую среду через отходящие газы. Для увеличения эффективности таких установок необходимо разработать тепловую схему с глубокой утилизацией теплоты уходящих газов [1].

Выбор схемы утилизации теплоты уходящих газов зависит от различных факторов, таких как тип используемого топлива, мощность установки, доступные ресурсы и экономические оценки. Однако, существует несколько основных способов утилизации теплоты, которые могут быть рассмотрены при разработке тепловой схемы парогазовой установки:

1. Когенерация (совместное производство электроэнергии и тепла):

– Система когенерации позволяет одновременно генерировать электроэнергию и тепло, используя уходящие газы.

– Основной элемент схемы - когенерационная турбина, которая работает на высокотемпературных газах и генерирует электроэнергию, а также пар для теплоснабжения [2].

– Эффективность такой системы может достигать более 80%.

2. Конденсационный котел утилизатора:

– Конденсационный котел используется для извлечения тепла из уходящих газов путем их охлаждения и конденсации водяных паров в газах.

– Это позволяет повысить эффективность установки и увеличить производство пара для теплоснабжения.

– Конденсационный котел должен быть включен в схему после основной турбины, где температура газов низкая [2].

Когенерация может быть предпочтительной, если существует высокий спрос на тепло, а также если схема парогазовой установки спроектирована для работы как электростанции и теплоснабжения. Однако, конденсационный котел утилизатора может быть более

эффективным, если целью является увеличение общей эффективности генерации электроэнергии [3].

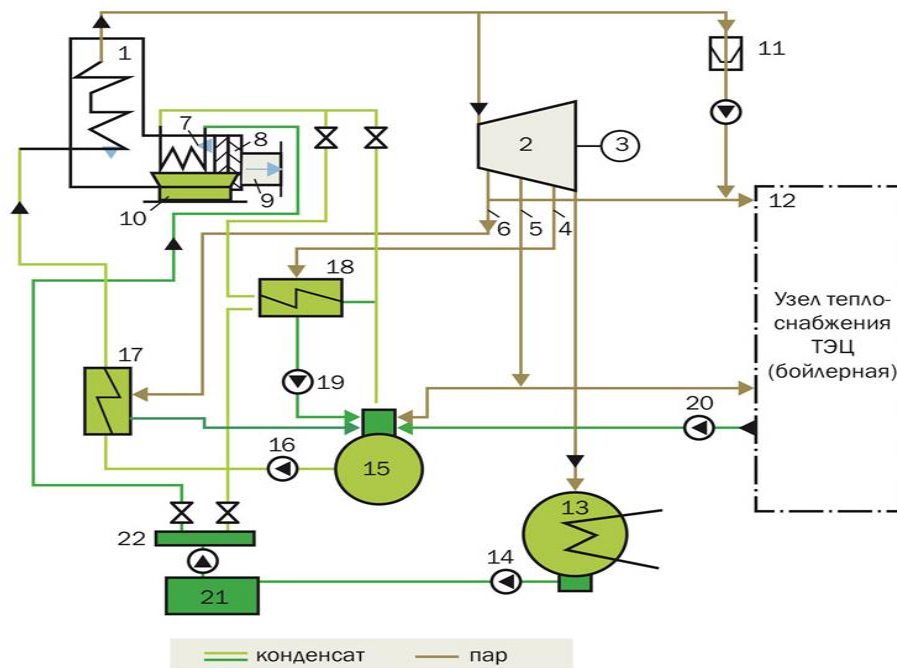
При включении конденсационного котла утилизатора в схему парогазовой установки, следует учесть следующие аспекты:

1. Расположение котла: Конденсационный котел утилизатора должен быть размещен в конце тепловой схемы после основной турбины, чтобы использовать низкотемпературные газы.

2. Тепловой баланс: Необходимо учесть тепловой баланс и определить оптимальное количество тепла, которое можно извлечь из уходящих газов, чтобы обеспечить наилучшую эффективность.

3. Контроль и автоматизация: Котел утилизатора должен быть оборудован системами контроля и автоматизации для обеспечения стабильной работы и оптимальной эффективности.

4. Рекуперация тепла: Кроме конденсационного котла, можно рассмотреть использование других устройств для рекуперации тепла, таких как теплообменники, чтобы максимизировать утилизацию теплоты [4].



Тепловая схема парогазовой установки с глубокой утилизацией теплоты уходящих газов с конденсационным котлом утилизатором

### Источники

1. Соколов Б.А. Паровые и водогрейные котлы малой и средней мощности. М.: Издательский центр "Академия", 2011. 128 с.

2. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. - М.: МЭИ, 2002. - 584 с.

3. Шадек Е., Маршак Б., Анохин А., Горшков В. Глубокая утилизация тепла отходящих газов теплогенераторов // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ, 2014. № 2 (23).

4. Шадек Е., Маршак Б., Крыкин И., Горшков В. Конденсационный теплообменник-утилизатор – модернизация котельных установок // Промышленные и отопительные котельные и мини-ТЭЦ, 2014. № 3 (24).

УДК 697.328

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛА НА ФАЗОВОМ ПЕРЕХОДЕ**

Азат Робертович Тимершин

Науч. д-р техн. наук, проф. Юрий Витальевич Ваньков

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

timer.az@yandex.ru

**Аннотация.** В работе представлены основные способы повышения эффективности аккумуляторов тепла с фазовым переходом, за счет изменения поверхности теплообмена, модификации материала с фазовым переходом, секционирования аккумулятора тепла. Рассмотрены преимущества и недостатки данных способов, возможности их реализации и дальнейшего развития.

**Ключевые слова:** аккумулятор тепла, материал с фазовым переходом, повышение эффективности, интенсификация.

## **WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF HEAT ACCUMULATORS ON PHASE TRANSITION**

Azat R. Timershin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

timer.az@yandex.ru

**Abstract.** The paper presents the main ways to increase the efficiency of phase change heat accumulators by changing the heat exchange surface, modifying the phase change material, and sectioning the heat accumulator. The advantages and disadvantages of these methods, the possibilities of their implementation and further development are considered.

**Keywords:** heat accumulator, phase change material, efficiency improvement, intensification.

Повышение энергоэффективности теплоэнергетических систем является основной задачей современной энергетики. Одним из приоритетных направлений является развитие технологии накопления тепловой энергии. Давно известны аккумуляторы тепла, представляющие собой буферные емкости, заполненные водой, но дальнейшее развитие технологии аккумулирования тепла невозможно без внедрения новых теплоаккумулирующих материалов (ТМ). Одним из перспективных ТМ являются материалы с фазовым переходом.

Основным недостатком аккумуляторов тепла с фазовым переходом является долгий период зарядки аккумулятора. В настоящий момент уменьшение времени зарядки и массогабаритных параметров, аккумуляторов тепла с фазовым переходом является основным направлением исследований.

Самым простым и очевидным способом повышение эффективности процессов зарядки и разрядки аккумуляторов является изменение формы фактор теплообменной поверхности. Увеличение теплообменной поверхности достигается оребрением пучков труб или придание им сложной геометрической формы (змеевик) [1]. Очевидным преимуществом является увеличение скорости зарядки и разрядки аккумулятора, увеличивается разность температур на входе и на выходе греющего потока. Увеличение площади теплообмена при постоянных габаритах аккумулятора снижает объем аккумулирующего материала, что в свою очередь приводит к снижению количества запасаемого тепла.

Другим относительно простым способом уменьшения габаритов и массы является секционирование аккумулятора тепла с фазовым переходом. В [2] представлена расчетная модель двухсекционного аккумулятора тепла. В работе было принято последовательное подключение греющей среды с возможностью подмеса. Расчет проведен по методике, приведенной в [3]. По итогам расчета было определено, что разница по полезной массе ТМ составил 13,43 % по сравнению с односекционным аккумулятором той же мощности. Увеличение количества секций позволяет повысить количество снимаемого тепла и как следствие скорость разрядки аккумулятора. Данное решение имеет ряд недостатков:

- 1) сложность расчета аккумулятора на стадии проектирования;
- 2) сложность трубной обвязки при монтаже;

3) неравномерная разрядка секций, что влечет за собой необходимость использования более сложных систем учета и регулировки греющей среды.

Одним из самых перспективных методов является наномодифицирование материала фазового перехода (МФП) путем добавления в него углеродных нанотрубок. Добавление в парафин графеновых наноотрубок может поднять теплопроводности парафина практически на 2 порядка [4]. Учитывая особенности углеродных нанотрубок, появляется необходимость перемешивания МФП. Данную проблему можно решить введением в МФП материалов для придания смеси ферромагнитных свойств. Перемешивание полученной смеси осуществляется путем воздействия на нее магнитного поля. Основным недостатком является высокая стоимость графена, также нельзя игнорировать сложность расчета многосоставной смеси для определения ее концентрации. Также конструкцию значительно усложняет источник магнитного поля необходимый для поддержания термомагнитной конвекции [5,6].

Получить аккумулятор с оптимальными параметрами невозможно используя лишь один из всевозможных способов интенсификации, но применение каждого из них значительно усложняет расчет и конструкцию.

Работа выполнена в рамках гос. задания № 075-03-2023-291/1

### **Источники**

1. Цымбалюк Ю. В. Анализ энергетической эффективности тепловых аккумуляторов с теплоаккумулирующими материалами фазового перехода //Вестник Череповецкого государственного университета. – 2016. – №. 5 (74). – С. 31-36.

2. Умеренков Е. В., Котенко Э. В. Секционирование кожухотрубного аккумулятора тепла на фазовом переходе как способ повышения его эффективности //Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – №. 2-2. – С. 39-43.

3. Умеренков Е. В., Котенко Э. В. Тепловой расчет кожухотрубного аккумулятора тепла на фазовом переходе на основе квазистационарного приближения //Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – №. 4-2. – С. 146-150.

4. Renteria J.D., Nika D.L., Balandin A.A. Graphene thermal properties: applications in thermal management and energy storage. Applied sciences. 2014. vol. 4. pp. 525–547.

5. Щегольков А. В., Щегольков А. В., Плотницкий И. О. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов для солнечных энергетических установок //Вестник аграрной науки Дона. – 2017. – Т. 4. – №. 40. – С. 46-51.

6. Щегольков А. В. и др. Теплоаккумулирующие материалы на основе наномодифицированного парафина, управляемые магнитным полем //Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80. – №. 4 (78). – С. 344-348.

УДК 681.178.1

## АНАЛИЗ МОДЕЛИ УТЕЧКИ В ТРУБОПРОВОДЕ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ANSYS

Екатерина Андреевна Усанова<sup>1</sup>, Земфира Ирековна Гаязова<sup>2</sup>

Науч. рук. кандидат технических наук Шамиль Гаязович Зиганшин

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

<sup>1</sup>usankate03@gmail.com, <sup>2</sup>juna.rit.wow@yandex.ru

**Аннотация.** Моделирование утечек трубопровода с использованием программного обеспечения ANSYS позволяет компаниям предотвращать потенциальные катастрофы, связанные с утечками, и оптимизировать работу своих трубопроводных систем.

**Ключевые слова:** ANSYS, трубопровод, утечки, модель, скорость.

## ANALYZING A PIPELINE LEAK MODEL USING ANSYS SOFTWARE

Ekaterina A. Usanova<sup>1</sup>, Zemfira I. Gayazova<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>usankate03@gmail.com, <sup>2</sup>juna.rit.wow@yandex.ru

**Abstract.** Pipeline leak modeling using ANSYS software allows companies to prevent potential leak disasters and optimize the performance of their pipeline systems.

**Keywords:** ANSYS, pipeline, leaks, model, velocity.

Транспорт и распределение жидкостей и газов в промышленности зависит от сетей трубопроводов. Однако любая система может подвергаться различным видам повреждений, включая утечки. Поэтому моделирование утечек становится важной частью обеспечения безопасности и эффективности работы трубопроводных систем [1]. В данной статье мы рассмотрим, как программное обеспечение ANSYS может использоваться для моделирования утечек трубопровода и оптимизации процесса обнаружения и предотвращения утечек, а также рассмотрим результаты процесса моделирования.

Для начала нами была построена модель со следующими параметрами: длина трубопровода - 2,5м, внутренний диаметр – 28 мм, наружный диаметр – 34 мм [2]. Модель трубопровода представлена на рисунке 1.

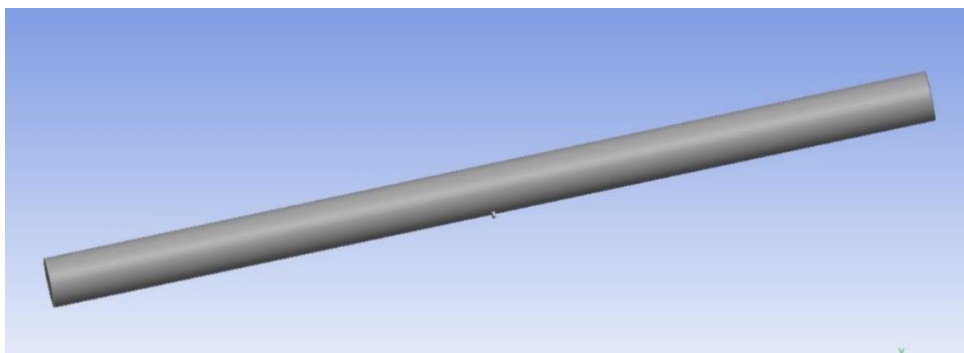


Рис. 1. Модель трубопровода

В сеточном генераторе ANSYS Mesh нами была сделана сеточная модель для проведения дальнейших расчетов [3]. Сеточная модель представлена на рисунке 2.

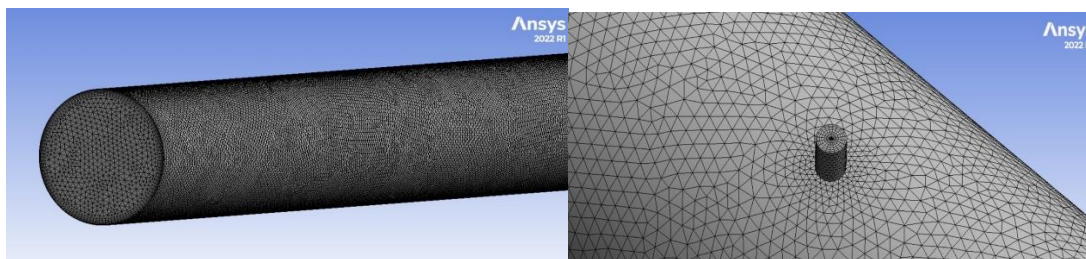


Рис. 2. Сеточная модель трубопровода.

Для проведения расчетов скорость потока нами была выбрана 0,763 м/с, а давление 1,8 атм [4]. Диаметр утечки равен 2 мм. После проведения расчетов мы получили следующие графики по давлению и скорости:

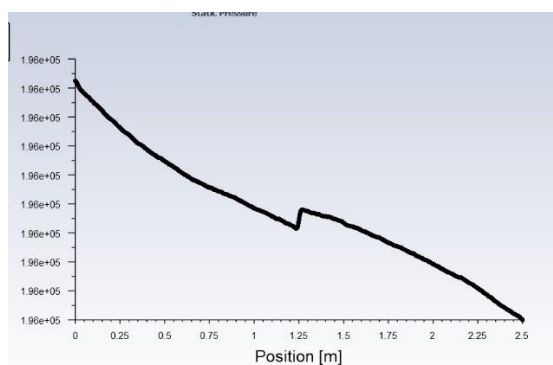


Рис. 3. График по давлению

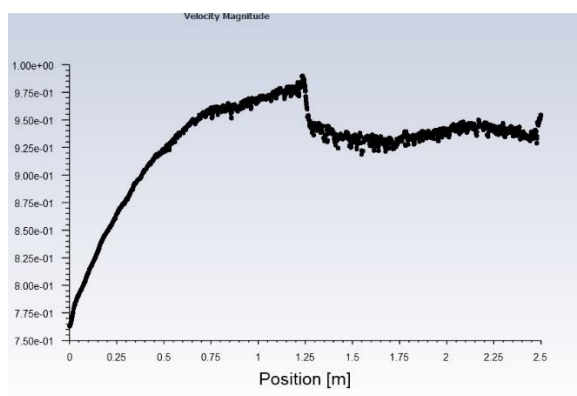


Рис. 4. График по скорости

По результатам расчета мы видим в случае моделирования системы с такими параметрами, происходит падение вектора давления и скорости на месте утечки [5]. Также по графикам видно, что параметры системы полностью выйдут из нормальных условий работы.

### Источники

1. Петрушенко Ю. Н., Ваньков Ю. В., Зиганшин Ш. Г., Тырышкин В. Н. Виброакустический способ и диагностический комплекс для определения дефектов трубопроводов с использованием нейронной сети // Вестник КГЭУ. Казань. 2009.



2. Косыгин А. Б., Ханин В. Н., Государев К. И., Фомина И. В. Обнаружение скрытых утечек с использованием системы мониторинга водопроводной сети // ВСТ. – 2010. – № 4.

3. Гуменюк В.А., Сульженко В.А., Яковлев А.В. Система классификации степени опасности источников акустической эмиссии и критерий экспресс-оценки состояния объектов на основе нечеткой логики // Контроль. Диагностика. — 2003. — № 1.

4. Спиро В.Е., Рыбакина О.Г. Исследование циклической трещиностойкости металлических материалов с учетом пластической деформации в вершине трещины. — Краткие сообщения XXIII Российской школы по проблемам науки и технологий. — Екатеринбург. — 2003.

5. РД 03-299–99. Требования к акустико-эмиссионной аппаратуре, используемой для контроля опасных производственных объектов. М. 2009, 18 с.

УДК 620.9

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ И РЕШЕНИЯ**

Светлана Романовна Ушакова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Александр Евгеньевич Кондратьев

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

sr\_ushakova@asp-aqua.ru, aekondr@mail.ru

**Аннотация.** Современные технологии и системы управления могут использоваться для оптимизации работы вентиляционных систем. Отмечается важность использования фильтров и систем очистки воздуха для обеспечения безопасности работников и оборудования. Инновационные методы распределения воздуха способствуют снижению энергопотребления и повышению эффективности вентиляции. Регулярное обслуживание и контроль работы системы также играют важную роль в предотвращении поломок и проблем. Эти подходы и решения в области промышленной вентиляции могут значительно оптимизировать условия работы и достичь высокой энергоэффективности.

**Ключевые слова:** вентиляция, промышленная среда, комфортные условия, оптимизация, качество воздуха, датчики, фильтры.

# OPTIMIZATION OF INDUSTRIAL VENTILATION: NEW APPROACHES AND SOLUTIONS

Svetlana R. Ushakova  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
sr\_ushakova@asp-aqua.ru

**Abstract.** Modern technologies and control systems can be used to optimize the operation of ventilation systems. The importance of using filters and air purification systems to ensure the safety of workers and equipment is noted. Innovative methods of air distribution help to reduce energy consumption and improve ventilation efficiency. Regular maintenance and monitoring of the system also play an important role in preventing breakdowns and problems. These approaches and solutions in the field of industrial ventilation can significantly optimize working conditions and achieve high energy efficiency.

**Keywords:** ventilation, industrial environment, comfortable conditions, optimization, air quality, sensors, filters.

Вентиляция является одним из основных аспектов в любой промышленной среде. Эффективная вентиляция не только обеспечивает комфортные условия для работников, но и играет важную роль в поддержании безопасности и оптимизации рабочего процесса. С высокими требованиями к качеству воздуха и энергоэффективности, разработчики постоянно работают над новыми подходами и решениями в области оптимизации промышленной вентиляции [1].

Одним из самых актуальных новых подходов является использование современных технологий и систем управления для оптимизации работы вентиляционных систем. Такие системы позволяют автоматически адаптировать работу вентиляторов к текущим потребностям, оптимизировать расход энергии и поддерживать требуемое качество воздуха [2].

Например, системы переменного объема воздуха (VAV) используют датчики для мониторинга качества воздуха и количества присутствующих людей в помещении. Система может автоматически регулировать скорость и объем вентиляции в зависимости от актуальных условий. Благодаря этому достигается не только оптимизация энергопотребления, но и улучшается качество воздуха, особенно в помещениях с переменной нагрузкой.

Еще одним важным аспектом оптимизации промышленной вентиляции является использование эффективных фильтров и систем

очистки воздуха. Особенно это актуально в отраслях, где существует повышенное воздействие пыли, газов или других вредных веществ на работников или оборудование. Современные системы фильтрации обладают высокой степенью очистки воздуха и удовлетворяют самым строгим требованиям безопасности и гигиены труда [3].

Новые решения в области оптимизации промышленной вентиляции также включают в себя инновационные методы распределения воздуха. Например, использование системы подачи воздуха точечно к местам с конкретной потребностью или технологии перемешивания воздуха в помещении для более равномерного распределения температуры и качества воздуха. Это приводит к пониженному энергопотреблению и повышению эффективности вентиляции [4].

Также следует отметить важность регулярного обслуживания и контроля работы вентиляционной системы. Только постоянный мониторинг и анализ позволяют выявлять возможные проблемы и своевременно принимать корректирующие меры. Это особенно важно в промышленной среде, где часто возникают износы и поломки оборудования [5].

В целом, оптимизация промышленной вентиляции требует комплексного подхода и использования новых технологий и решений. Модернизация вентиляционных систем позволяет улучшить условия работы и обеспечить безопасность работников, особенно в условиях переменной загрузки и наличия вредных веществ. Новые подходы включают в себя автоматическое регулирование работы вентиляторов, использование эффективных фильтров и систем очистки воздуха, инновационные методы распределения воздуха. Однако, необходимо также уделять внимание регулярному обслуживанию и контролю работы системы, чтобы предотвратить возможные поломки и проблемы. Все эти новые подходы и решения позволяют значительно оптимизировать промышленную вентиляцию и достичь лучших результатов в поддержании комфортных условий и энергоэффективности.

### **Источники**

1. Бусахин, А. В. Промышленная вентиляция / А. В. Бусахин // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2019. – № 3. – С. 18-29. – EDN ZCYKTR.
2. 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.

3. Котлеревская, Л. В. Производственный микроклимат и мероприятия по улучшению условий труда по микроклиматическому фактору (На примере предприятий теплоэнергетики) / Л. В. Котлеревская, Т. В. Бордакова // Приоритетные направления развития науки и технологий : Сборник материалов XXVII Международной научно-практической конференции, Тула, 20 апреля 2020 года / Тульский государственный университет. – Тула: Издательство "Инновационные технологии", 2020. – С. 133-135. – EDN MPEXXQ.

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. Новосельцев, Б. П. Энергосбережение в системах воздушного отопления и вентиляции / Б. П. Новосельцев, Д. В. Лобанов // Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции : Сборник докладов IX Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика РААСН В.Н. Богословского, Москва, 19–21 апреля 2023 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 100-106. – EDN EESHDY.

УДК 621.311

## **ПЕРЕВОД ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК ЛОКАЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ НА САКМАРСКУЮ ТЭЦ**

Вячеслав Юрьевич Фартушин

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Юрий Витальевич Ваньков

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

wot.xut@inbox.ru

**Аннотация.** В статье предложен способ оптимизации тепловых нагрузок системы теплоснабжения города Оренбурга. Способ повышения качества отопления и ГВС. Полное исключение затрат на топливо котельной, а также полный отказ от персонала на опасном производственном объекте.

**Ключевые слова:** котельная, БМЦТП, теплоснабжение, эффективность, снижение затрат, производительность.

# TRANSFER OF THERMAL LOADS OF THE LOCAL BOILER HOUSE TO THE SAKMARSKAYA TPP

Vyacheslav Yu. Fartushin  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
wot.xut@inbox.ru

**Abstract.** The article suggests a way to optimize the thermal loads of the heat supply system of the city of Orenburg. A way to improve the quality of heating and hot water. Complete exclusion of boiler room fuel costs, as well as complete abandonment of personnel at a hazardous production facility.

**Keywords:** boiler house, CBM, heat supply, efficiency, cost reduction, productivity.

Отрасль теплоснабжения в РФ имеет большое социальное значение. Повышение надежности теплоснабжения, повышение энергоэффективности и экономичности являются актуальными задачами [1]. Сбои в обеспечении теплоснабжением населения и промышленных потребителей негативно воздействует на экономику страны, и усиливают социальную напряжённость.

На данный момент в городах России ещё остались котельные, работающие на жидком и твердом топливе. Для их функционирования необходимо присутствие операторов, которые следят за оборудованием котельной, выполняют переключения с одного оборудования на другое, а также осуществляют контроль показаний приборов учета [2].

Одним из эффективных способов оптимизации систем централизованного теплоснабжения являются переключение тепловых нагрузок с котельных на ТЭЦ.

Объектом исследования в данной работе является система теплоснабжения г. Оренбург. На данный момент в городе работают более 30 котельных и крупнейшая ТЭЦ в области. Оптимизации системы теплоснабжения в городе началась ещё в 2017 году, тогда впервые был произведен перевод нагрузок с котельной «Уральская» на Сакмарскую ТЭЦ.

Целью перевода нагрузок на Сакмарскую ТЭЦ, является расширение зоны теплоснабжения от ТЭЦ, что ведёт к снижению себестоимости производительности тепловой и электрической энергии в комбинированном цикле при переводе на неё тепловой нагрузки локальной котельной, а также повышение надёжности теплоснабжения потребителей [4, 5].

Данный перевод был возможен благодаря строительству нового здания блочно-модульного ЦТП (БМЦТП). В России БМЦТП получили большое распространения благодаря простоте монтажа. Здание блочно-модульного теплового пункта приходит к месту установки полностью в сборе. Всё оборудование, которое требуется для ЦТП установлено в нём заводом изготовителем. На месте подключения происходит непосредственно соединение БМЦТП с магистральной и квартальной сетью [3].

Основными преимуществами перевода нагрузок на БМЦТП являются следующие:

– Повышение экономичности тепловой сети. Автоматизированная система БМЦТП даёт возможность регулировки расхода тепла, что повышает экономию тепловой энергии примерно на 10 – 15%.

– Автоматизация процесса контроля. У оборудования, установленного в БМЦТП имеются тепловые реле, которые дают возможность настройки оборудования таким образом, чтобы компенсировать погодные условия, а также менять режимы работы в соответствии с временем суток.

– Снижение материальных затрат. Так как установка является автоматизированной системой, то персонала требуется меньше или не требуется вовсе для того, чтобы следить за его работой, контролировать состояние тепловых элементов, проводить профилактические работы или ремонт и т. д. В сумме все это способно снизить затраты материальных средств примерно втрое.

– Даже при высокой производительности БМЦТП, оборудование в нём располагается достаточно компактно и площадь, которая выделяется под его монтаж меньше, чем для строительства полностью нового кирпичного сооружения ЦТП.

### **Источники**

1. Открытый семинар «Экономические проблемы энергетического комплекса». Некрасов А.С., Синяк Ю.В., Воронина С.А., Семикашев В.В. «Современное состояние и перспективы развития теплоснабжения в России», от 20 декабря 2012 года.

2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: учебник для вузов / Е. Я. Соколов. - 8-е изд., стер. - Москва: Изд-во МЭИ, 2006. - 472 с.: ил. - Прил.: с. 432-464. - Библиогр.: с. 465-469. - ISBN 5-903072-15-9.

3. Баканова С.В., Баранов П.О., Сорокин Д.С. В сборнике: «Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах». Сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции. Под редакцией Т.И. Королёвой. 2017. С. 45-48.

4. Тихомиров А.К. Теплоснабжение района города № учеб. пособие /А.К. Тихомиров. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2006. – 135 с. – ISBN 5-7389-0515-6.

5. Поливода Ф. А. Надежность систем теплоснабжения городов и предприятий легкой промышленности - М., 2016. - 170 с.

УДК 621.31

## ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД В НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ ЦТП КОММУНАЛЬНОЙ СФЕРЫ

Айрат Фарисович Фаттахов

Науч. рук. кандидат тех. наук, доцент Айрат Рифкатович Загретдинов

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

ajratfattahov2@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается принцип работы частотно-регулируемого привода и преимущества использования на ЦТП в насосных станциях.

**Ключевые слова:** частотно-регулируемый привод, энергосбережение, ЦТП, насосные станции.

## VARIOUS FREQUENCY DRIVE IN PUMPING STATIONS OF UTILITIES CENTRAL HEATING PLANTS

Airat F. Fattakhov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ajratfattahov2@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the operating principle of a variable frequency drive and the advantages of using it at central heating stations in pumping stations.

**Keywords:** variable frequency drive, energy saving, central heating substations, pumping stations.

Использование частотно-регулируемого привода является передовым технологическим решением, широко применяемым в насосных станциях для централизованного теплоснабжения и водоснабжения. Данная инновационная система обеспечивает более эффективную работу насосных агрегатов, повышенную надежность и экономичность, что играет важную роль в обеспечении оптимального функционирования центральных тепловых пунктов и насосных станций [1].

Одной из основных проблем, с которыми сталкиваются насосные станции, является постоянная нагрузка насосных агрегатов даже в периоды низкого потребления энергоресурсов. Это приводит к излишнему расходу энергии и потерям. Однако, благодаря частотно-регулируемому приводу, скорость вращения насоса может быть изменена в соответствии с колебаниями потребления. Таким образом, достигается оптимальный режим работы насосной станции, что позволяет уменьшить износ оборудования и энергопотребление [2].

Работа частотно-регулируемого привода основана на регулировании частоты и напряжения питания электродвигателя насоса. При минимальном потреблении энергии ограничиваются энергетические затраты путем снижения частоты и напряжения. При увеличении потребления ресурсов система автоматически повышает частоту и напряжение, что позволяет насосному агрегату работать на полную мощность. Таким образом, частотно-регулируемый привод способствует эффективному управлению энергопотреблением и предотвращает перегрузку насосов [3].

Использование частотно-регулируемого привода в насосных станциях централизованного теплоснабжения и водоснабжения коммунальной сферы предоставляет значительные преимущества. Во-первых, это позволяет снизить энергопотребление в периоды низкого спроса, что приводит к экономии ресурсов и снижению затрат. Во-вторых, регулирование скорости вращения насоса способствует увеличению срока службы оборудования, так как оно работает в оптимальном диапазоне нагрузки. В-третьих, частотно-регулируемый привод обеспечивает плавный пуск и остановку насосов, что снижает риск гидравлических ударов и других повреждений [4].

Использование частотно-регулируемого привода в насосных станциях для централизованного теплоснабжения и водоснабжения коммунальной сферы является неотъемлемой технологией, способной обеспечить оптимальные условия эксплуатации и повысить эффективность работы системы. Это инновационное решение позволяет более рационально использовать энергоресурсы и сократить затраты на



обслуживание и ремонт оборудования. Внедрение частотно-регулируемого привода является важным шагом в совершенствовании насосных станций и повышении качества коммунальных услуг [5].

### **Источники**

1. Шумилов Е.А., Бирюков А.Н., Камин Р.А., Боброва М.С. Модернизация системы частотно-регулируемого электропривода с асинхронным двигателем с целью повышения технико-экономических показателей// Лучшая научная статья 2018. Сборник статей XV Международного научно-практического конкурса. 2018. С. 18-23.

2. Павлова Д.А. Методы повышения энергетической эффективности насосного оборудования // Фундаментальные и прикладные исследования в области естественных и технических наук. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Том Часть II. Под общей редакцией Е.П. Ткачевой. 2018. С. 122-125.

3. Вотинцев М. В. Установка частотно-регулируемых приводов (ЧРП) на электродвигателях насосов холодного и горячего водоснабжения ЦТП// Научные труды студентов Ижевской ГСХА. Том 2 (13). ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия». Ижевск, 2021. С. 1215-1218.

4. Рыбель С.И., Кунин В.П., Герасимов С.П., Бабушкин А.В. Опыт использования частотных преобразователей на объектах ООО "Водоканал"// Водоснабжение и санитарная техника. 2020. №4. С. 55-57.

5. Закиров В., Акуленко М. Энергетическая эффективность внедрения частотно-регулируемого электропривода насосных установок // ЭНЕРГИЯ МОЛОДЕЖИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ИНДУСТРИИ. Материалы IV Международной научно-практической конференции молодых ученых. 2019. С. 384-387.

## О ВЛИЯНИИ КАЛЬЦИЕВЫХ ВНУТРЕННИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СТАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Вероника Евгеньевна Чанчина

Науч. рук. к. техн. наук, доц. Александр Евгеньевич Кондратьев

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

veronika.zaharova.95@mail.ru

**Аннотация.** В представленной работе рассмотрено использование метода вынужденных колебаний при анализе возможного влияния внутренних отложений различной толщины на собственные колебания трубопровода. С помощью данного метода произведен модальный анализ собственных колебаний стального трубопровода. По окончании исследования представлены результаты модального анализа для стального трубопровода без отложений и с кальциевыми отложениями различной толщины на его внутренних стенках.

**Ключевые слова:** математическая модель, надёжность, отложения в трубопроводах, модальный анализ, анализ собственные частот.

## ON THE INFLUENCE OF CALCIUM INTERNAL DEPOSITS ON THE NATURAL VIBRATIONS OF A STEEL PIPELINE

Veronika E. Chanchina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

veronika.zaharova.95@mail.ru

**Abstract.** The presented work examines the use of the forced vibration method in analyzing the possible influence of internal deposits of various thicknesses on the natural vibrations of a pipeline. Using this method, a modal analysis of natural vibrations of a steel pipeline was performed. At the end of the study, the results of modal analysis are presented for a steel pipeline without deposits and with calcium deposits of varying thickness on its internal walls.

**Keywords:** mathematical model, reliability, deposits in pipelines, modal analysis, eigenfrequency analysis.

Для водоснабжения объектов используют природные поверхностные и подземные воды, которые содержат следующие примеси: газы, минеральные и органические вещества. Остаточные содержания вышеуказанных веществ

при эксплуатации оборудования могут приводить к возникновению коррозии и отложений на стенках трубопроводов и образованию на них различных по химическому составу и структуре отложений [1-2].

Одним из основных компонентов отложений на поверхностях нагрева в системах отопления является карбонат кальция, отложения которого могут приводить к медленному снижению расхода на участках трубопроводы, что влечёт за собой снижение теплоотдачи.

Метод колебаний используется как один из способов технической диагностики трубопроводов: в объекте контроля вызывают вибрационные колебания, исследуют полученные параметры в некотором удалении от точки возбуждения, устанавливают частоты наиболее содержательных собственных колебаний, частота которых зависит от параметров объекта контроля [3].

Целью исследования является построение математической модели стального трубопровода без отложений и с кальциевыми отложениями различной толщины на его внутренних стенках, проведении модального анализа собственных колебаний стального трубопровода.

Для расчета был выбран участок стальной трубы со следующими характеристиками: 165x5,5 мм. Параметры соответствуют требованиям ГОСТ 3262-75 «Трубы стальные водогазопроводные». Длина участка - 1000 мм.

Для проведения анализа был использован программный комплекс конечно-элементного анализа ANSYS, который является универсальным и довольно популярным у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов. Количество ячеек и узлов начальной расчетной сетки составило 10302 и 68293 соответственно, размер ячеек был взят 0,02 [4].

Были построены шесть математических моделей участка трубы без отложений и с внутренним кальциевым слоем следующих толщин: 2 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм, 10 мм.

Анализ полученных результатов показал: чем большая толщина кальциевого отложения закладывалась при расчете, тем выше становились собственные частоты трубопровода. В таблице 1 представлены результаты анализа частот собственных колебаний шести математических моделей.

Практическая ценность изучения данного вопроса заключается в нахождении зависимости влияния внутренних отложений различной толщины на собственные колебания трубопроводов, что может значительно увеличить достоверность вибрационных испытаний коммуникаций, упростить работы по организации данного процесса, а также позволит определять долгосрочные прогнозы эксплуатации трубопроводов [5].

## Результаты анализа

Мода	Частота, Гц					
	Без отложений	2 мм	4 мм	6 мм	8 мм	10 мм
1.	724,04	714,59	706,26	698,79	691,99	685,72
2.	724,3	714,84	706,5	699,03	692,2	685,94
3.	845,35	873,4	940,41	1045,4	1182,5	1342,9
4.	846,04	874,01	940,93	1045,8	1182,8	1343,2
5.	1105,0	1123,2	1176,0	1264,5	1385,5	1477,8
...						
26.	2897,0	2882,2	2949,7	3232,1	3588,6	3762,1
27.	3025,0	3053,1	3023,5	3232,6	3589,4	3762,9
28.	3025,8	3096,3	3275,6	3553,0	3617,2	3792,2
29.	3087,1	3096,9	3276,0	3553,3	3617,8	3792,3
30.	3444,4	3509,5	3592,4	3629,9	3697,6	3988,6

**Источники**

1. Чанчина В. Е., Гапоненко С. О., Кондратьев А. Е. [и др.] Применение методов математического моделирования для определения влияния грунта на частоты собственных колебаний трубопроводов // Надежность и безопасность энергетики. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 142-147. – DOI 10.24223/1999-5555-2021-14-2-142-147.

2. Карницкий Н.Б. Теплофизические свойства и структура отложений на поверхностях нагрева энергетического оборудования // Известия ВУЗов и энергетических объединений стран СНГ. Энергетика: международный Научно-технический и производственный журнал. – 2007. – № 1. – С. 55–60.

3. Чанчина В.Е., Гапоненко С.О. Метод вынужденных колебаний при анализе возможного влияния грунтов различного типа на собственные колебания трубопровода // 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. 467-470.

4. Nazarychev S.A., Gaponenko S.O., Kondratiev A.E. Determination of informative frequency ranges for buried pipeline location control // Helix, vol. 8(1), 2481-2487 (2017).

5. Nazarychev S. A., Gaponenko S. O., Kondratiev A. E., Shakurova R. Z. Acoustic-resonance method for control of the location of hidden hollow objects // Journal of Physics: Conference Series : Scientific Technical Conference on Low Temperature Plasma During the Deposition of Functional Coatings, Kazan, 05–08 ноября 2018 года. Vol. 1328. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012054. – DOI 10.1088/1742-6596/1328/1/012054. – EDN MWGTLL.

УДК 534.612

## ЗВУКОВОЕ ДАВЛЕНИЕ В ТРУБОПРОВОДАХ

Данияр Ильхамович Шангараев

Науч. рук. кан. тех. наук, доцент Айрат Рифкатович Загретдинов

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

daniyar.shan@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается распространение звуковых после столкновений с различными элементами трубопровода (фитингами).

**Ключевые слова:** звуковая волна, звуковое давление, сопротивление трубопровода.

## SOUND PRESSURE IN PIPELINES

Daniyar I. Shangaraev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

daniyar.shan@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the propagation of sound after collisions with various pipeline elements (fittings).

**Keywords:** sound wave, sound pressure, pipeline resistance.

Звуковое давление является важным параметром в системах трубопроводов, особенно в промышленности, транспорте и строительстве. Эффективное снижение потерь звукового давления в трубопроводах имеет большое значение для улучшения рабочей среды и соблюдения нормативов по шуму [1].

Звуковое давление в трубопроводах обусловлено взаимодействием звуковых волн с внутренними поверхностями трубы и другими

элементами конструкции. Эти взаимодействия могут приводить к потерям звукового давления внутри трубопровода. Потери звукового давления могут иметь различные источники:

**Трение:** Трение между жидкостью или газом и внутренней поверхностью трубы вызывает колебания и, следовательно, потери звукового давления.

**Обтекание препятствий:** если внутри трубопровода есть отводы, клапаны или другие препятствия, они могут вызывать рассеяние звуковых волн и увеличивать потери звукового давления [2].

Звуковое давление в трубах можно описать с помощью уравнения Гельмгольца. Это уравнение описывает колебания звукового давления внутри трубы. Решение этого уравнения зависит от геометрии трубы, свойств звука и условий граничных условий [3].

Повсеместное применение композитных материалов и новые технологии изготовления труб способствуют более широкому применению трубопроводов из полимерных и металлополимерных материалов. Снижение суммарных потерь напора наряду с точным определением их значений является актуальной проблемой при транспортировке жидкостей трубопроводами. При гидравлическом расчете трубопроводов систем водо-, газо- и теплоснабжения, выполненных из полимерных и металлополимерных труб, необходимым условием является определение суммарной величины линейных потерь на трение и местных потерь напора [4].

Исследование местных сопротивлений трубопроводов на потери звукового давления имеет важное значение для увеличения эффективности работы сотрудников, соблюдения нормативов по шуму и повышения эффективности трубопроводных систем. Полученные результаты позволят инженерам и проектировщикам разрабатывать более эффективные и бесшумные трубопроводы, что будет положительно сказываться на промышленных процессах и окружающей среде [5].

### **Источники**

1. Терехов А. Л. Дробаха Н. М., Современные методы снижения шума ГПА. Сбп.: Недра, 2008. С. 368.
2. Дроздова, Л. Ф., Чеботарева, Е. Ю., Кудаев, А. В. Обзор современных компрессорных установок и материалов для снижения их шума / Л. Ф. Дроздова, Е. Ю. Чеботарева, А. В. Кудаев [Текст] // Noise Theory and Practice. ., 2018. С. 11

3. Е.А. Вощукова Волновой метод расчета звукового поля в замкнутом объеме / Е.А. Вощукова [Электронный ресурс] // Физические основы строительной акустики : [сайт]. — URL: <https://elbook.github.io/page28.html>.

4. Палиивец М.С. Гидравлический расчет трубопровода с учетом длин влияния местных сопротивлений и их интерференции. Природообустройство. 2022. С.102-108.

5. Подлипаев А.А. Сравнение величин местных сопротивлений в трубопроводах из полимерных материалов / Подлипаев А.А. // Научный электронный журнал меридиан. 2020. № 37. с. 471-473.

УДК 620.92

## УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ С ФАЗОВЫМ ПЕРЕХОДОМ

Дмитрий Евгеньевич Шарафиев<sup>1</sup>, Азат Робертович Тимершин<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Юрий Витальевич Ваньков

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

<sup>1</sup>[vip.sharafiev00@mail.ru](mailto:vip.sharafiev00@mail.ru), <sup>2</sup>[timer.az@yandex.ru](mailto:timer.az@yandex.ru)

**Аннотация.** в статье представлена информация об устройстве лабораторного стенда для изучения теплоаккумулирующих свойств аморфного вещества в качестве рабочего тела теплового аккумулятора.

**Ключевые слова:** фазовый переход, аккумулярование тепловой энергии, энергосбережение, лабораторная установка.

## INSTALLATION FOR STUDYING THE HEAT ACCUMULATING PROPERTIES OF SUBSTANCES WITH PHASE TRANSITION

Dmitry E. Sharafiev<sup>1</sup>, Azat R. Timershin<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>[vip.sharafiev00@mail.ru](mailto:vip.sharafiev00@mail.ru), <sup>2</sup>[timer.az@yandex.ru](mailto:timer.az@yandex.ru)

**Abstract.** the article presents information about the device of a laboratory stand for studying the heat-accumulating properties of an amorphous substance as a working fluid of a thermal accumulator.

**Keywords:** phase transition, thermal energy storage, energy saving, laboratory installation.

В настоящее время многие предприятия промышленности сталкиваются с проблемой выброса низкопотенциальной энергии, которая выделяется от различного рода оборудования, например, аппараты воздушного охлаждения. Вся энергия, исходящая от них, выбрасывается в атмосферу, что может пагубно сказываться на климатическом состоянии [1].

Одним из решений данной проблемы, может стать создание аккумулятора тепла, основанном на использовании новых материалов и методов производства [2,3].

По данному вопросу на базе кафедры «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» Казанского государственного энергетического университета была разработана установка для изучения аккумулирующих свойств новых материалов, схема которой представлена на рисунке.

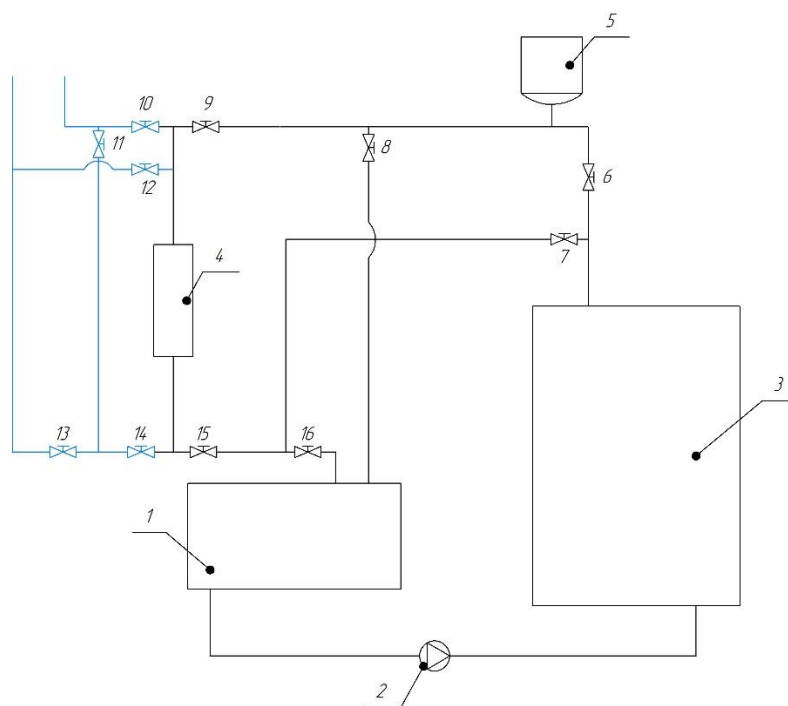


Схема установки для аккумулирования тепловой энергии

Для наиболее полного изучения аккумулирующих свойств в схеме предусмотрены горячий и холодный контуры, подача которых осуществляется попеременно через аккумулятор тепла «сверху-вниз» и «снизу-вверх».

Из бака 1 вода, перекачиваемая насосом 2, попадает в котел 3, где нагревается до 80-90 °С, что соответствует приближенной температуре



теплоносителя у частных потребителей, а также соответствует температуре вторичных жидкостей на производстве. Далее нагретая вода поступает в аккумулятор тепла 4, где отдает тепло рабочему телу. Рабочим телом является аморфное вещество, в данном случае парафин [4].

Далее происходит процесс «зарядки» аккумулятора, благодаря нагреванию парафина и его плавлению внутри аккумулятора, а отработанный теплоноситель поступает в бак 1, откуда вновь перекачивается насосом в котел.

Процесс «разрядки» аккумулятора производится переключением на «холодный» контур, который включает в себя вход и выход холодной воды, идущей из системы водоснабжения здания. При проходе через «заряженный» аккумулятор, происходит отдача тепла от рабочего тела холодной воде, протекающей внутри теплообменного элемента аккумулятора тепла. Циркуля холодной воды происходит под действием напора системы водоснабжения [5].

На входе и выходе из аккумулятора установлены датчики температуры, а также расходомеры, отражающие параметры воды до и после прохождения через теплообменный элемент.

Внутри аккумулятора тепла установлена термопара, для сбора данных по температуре нагревания и(или) охлаждения рабочего тела.

### **Источники**

1. П.Н. Недвига. Возможности использования тепловых аккумуляторов и низкопотенциального тепла земли при отоплении индивидуальных домов // Инженерно-строительный журнал - №3. - 2010. - с. 11-14.

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. Бараненко А.В., Кузнецов П.А., Захарова В.Ю., Цой А.П. Применение веществ с фазовыми переходами для аккумуляции тепловой энергии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптик - №6 (18). - 2018. - с. 990-1000.

5. Razmat Makhmudov Mirzo Ulugbek, Samarkand Shavkat. Experimental technique for a heat storage model with a phase transition of substance // Universum. - 2021. - №5. - 5 p.

### Секция 3. Энергообеспечение, энергоресурсосбережение и строительство

УДК 658.26

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Тимур Василевич Бикеев

Науч. рук. кандидат тех. наук, доцент Людмила Валерьяновна Плотникова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
tbikeevt@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается рациональное использование топливно-энергетических ресурсов и применении новых энергосберегающих технологий.

**Ключевые слова:** температура грунтов основания, энергоэффективность, теплонаносных систем, теплоснабжение, геотермального отопления.

## APPLICATION OF THERMAL ENERGY OF GROUND FOUNDATIONS FOR HEATING AND AIR CONDITIONING BUILDINGS

Timur V. Bikeev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
tbikeevt@yandex.ru

**Abstract.** The article discusses the rational use of fuel and energy resources and the application of new energy-saving technologies.

**Keywords:** base soil temperature, energy efficiency, heat transfer systems, heat supply, geothermal heating.

Рациональном использовании топливно-энергетических ресурсов и применении новых энергосберегающих технологий является весьма актуальным и важным. Эффективное использование энергии и переход к нетрадиционным источникам энергии являются ключевыми шагами в содействии устойчивости окружающей среды и обеспечении долгосрочной энергетической безопасности [1].

Применение теплонаносных систем теплоснабжения, работающих на основе тепловых насосов и использующих низкопотенциальное тепло земли, действительно представляет собой перспективный подход. Этот метод, известный как геотермальное отопление, может быть эффективным способом обогрева и охлаждения зданий. Он основан на том, что под поверхностью Земли сохраняется относительно постоянная температура, и это тепло можно использовать для регулирования температуры внутри помещений [2].

Преимущества геотермального отопления включают в себя:

- 1) Энергоэффективность: это система обогрева и охлаждения, которая потребляет меньше электроэнергии в сравнении с традиционными системами.
- 2) Экологическая безопасность: Она не создает выбросы и уменьшает углеродный след здания.
- 3) Надежность: Системы геотермального отопления обычно имеют долгий срок службы и требуют меньше обслуживания[3]

Однако существуют и некоторые ограничения и сложности, связанные с геотермальными системами, такие как затраты на начальное оборудование и требования к установке. Тем не менее, при правильном проектировании и использовании они могут значительно снизить энергопотребление и вкладывать в экологически устойчивое будущее [4].

В целом, применение теплонаносных систем с использованием низкопотенциального тепла Земли и тепловых насосов является важным элементом устойчивого энергетического будущего и уменьшения воздействия на окружающую среду.

### **Источники**

1. Новикова К. И., Ималиев Р. А. Исследование эффективности грунтового коллектора теплового насоса на основе конечных элементов. // Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции «Ресурсосбережение и энергоэффективность в строительстве и ЖКХ – 2019». С. 383-389.

2. Соколов А.П., Павлов И.В., Борисов А.А. Экономический анализ использования тепловых насосов для обеспечения теплоснабжения. // Экономика и управление. 2018. № 5 (67). С. 48-54.

3. Леонтьев Д.П., Захарова Е.А., Горшков С.В. Исследование сезонной эффективности тепловых насосов в системах отопления. // Энергосбережение и энергоаудит. 2016. № 7 (97). С. 24-28.

4. Иванов П.Н., Королев А.С., Смирнов В.А. Анализ влияния параметров тепловых насосов на энергоэффективность систем отопления. // Энергетические системы и комплексы. 2016. № 2 (18). С. 36-42.

УДК 004.8

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РАБОТЫ ЭНЕРГОМАШИНЫ

Алия Мансуровна Гарипова<sup>1</sup>, Дмитрий Александрович Базин<sup>2</sup>

Науч. рук. доцент Ляпин Александр Игоревич

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

Garipovaalia1808@gmail.com<sup>1</sup>, rezort12@mail.ru<sup>2</sup>

**Аннотация.** Данная статья рассматривает использование искусственного интеллекта (ИИ) для улучшения работы энергомашин в энергетическом секторе. В статье описываются примеры применения ИИ, такие как оптимизация управления энергосистемами, разработка интеллектуальных контроллеров и предотвращение аварий. Также обсуждаются вызовы, связанные с качеством данных и интерпретируемостью алгоритмов ИИ. Дальнейшие исследования и разработки в области ИИ могут значительно улучшить эффективность работы энергомашин и способствовать устойчивому развитию.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, энергомашины, оптимизация, управление энергосистемами, технологическая трансформация, эффективность, алгоритмы машинного обучения, прогнозирование.

## USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO IMPROVE THE OPERATION OF POWER MACHINE

Aliia M. Garipova<sup>1</sup>, Dmitriy A. Bazin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Russia

Garipovaalia1808@gmail.com<sup>1</sup>, rezort12@mail.ru<sup>2</sup>

**Abstract.** This article considers the use of artificial intelligence (AI) to improve the performance of power machines in the energy sector. The paper describes examples of AI applications such as optimisation of power system control, development of intelligent controllers and accident prevention. Challenges related to data quality and interpretability of AI algorithms are also discussed. Further research and development in AI can significantly improve the efficiency of power machines and contribute to sustainable development.

**Keywords:** artificial intelligence, power machines, optimisation, power system control, technological transformation, efficiency, machine learning algorithms, forecasting.

Искусственный интеллект (artificial intelligence, AI) все чаще упоминается в контексте технологической трансформации, происходящей в настоящее время. Он продолжает проникать в различные сферы нашей жизни, и энергетический сектор не исключение [1]. С использованием передовых технологий и алгоритмов машинного обучения, ИИ позволяет значительно улучшить эффективность работы энергомашин, ведь оптимальное использование энергии становится всё более важным в условиях постоянного роста потребления и стремления к экологической устойчивости [2].

Примеры применения искусственного интеллекта

Оптимизация процесса управления энергосистемами

Использование искусственного интеллекта позволяет эффективно управлять энергосистемами, прогнозировать спрос на энергию и оптимизировать ее распределение. За счет применения нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения, большие объемы данных о потреблении энергии могут быть анализированы для прогнозирования спроса в реальном времени [3].

Разработка интеллектуальных контроллеров

Использование искусственного интеллекта в разработке интеллектуальных контроллеров позволяет значительно повысить эффективность работы энергомашин. Эти контроллеры основаны на алгоритмах, которые могут адаптироваться к изменяющимся условиям и настраивать работу системы в оптимальном режиме. Это помогает повысить эффективность работы систем и снизить потребление энергетических ресурсов [4].

Обнаружение неисправностей и предотвращение аварий

Искусственный интеллект может быть использован для обнаружения неисправностей и предотвращения возможных аварий в энергосистемах. С помощью алгоритмов машинного обучения, данные от множества датчиков могут быть анализированы для предсказания возможных отказов оборудования.

Вызовы и перспективы

Хотя использование искусственного интеллекта для улучшения работы энергомашин предлагает много перспектив, есть несколько вызовов и проблем, которые требуют уделения внимания:

Качество данных:

Эффективность работы алгоритмов искусственного интеллекта зависит от качества и достоверности данных, которые используются для обучения и обработки. Поэтому важно предоставить алгоритмам достоверные и полные данные для анализа и обучения [5].

Интерпретируемость алгоритмов:

Если алгоритмы искусственного интеллекта принимают решения, которые невозможно объяснить или интерпретировать, это может вызывать недоверие и опасения. Поэтому разработка методов и алгоритмов, которые обеспечивают объяснимость решений и действий, является важной задачей для применения искусственного интеллекта в энергоэффективности.

Этические и социальные вопросы:

Внедрение искусственного интеллекта в энергетические системы также сопряжено с рядом этических и социальных вопросов. Эти вопросы требуют согласования и разработки соответствующих правовых и этических норм, чтобы обеспечить баланс между инновациями и защитой интересов людей и сообщества [6].

Обучение и адаптация моделей:

Системы энергопроизводства и распределения могут подвергаться изменениям со временем, таким как изменение погодных условий, технические сбои или изменение потребительского спроса. Разработка методов и алгоритмов для обучения и адаптации моделей в режиме реального времени является вызовом для исследователей и инженеров [6].

Улучшение качества и доступности данных может быть достигнуто путем сбора большего количества данных или улучшения процесса сбора данных. Также требуется разработка алгоритмов для очистки и обработки данных, чтобы исключить ошибки и несоответствия.

Использование искусственного интеллекта для улучшения работы энергомашин представляет огромные перспективы. Оптимизация энергосистем, разработка интеллектуальных контроллеров и предотвращение аварий — это лишь некоторые из областей, в которых ИИ может сделать значительный вклад. Однако, необходимо учитывать вызовы, связанные с качеством данных и интерпретируемостью алгоритмов. Людям еще предстоит пройти долгую дорогу, вызовов и поисков нестандартных решений, прежде чем искусственный интеллект сможет полноценно руководить процессами в энергетической сфере [7].

## Источники

1. Применение алгоритмов искусственного интеллекта в мировой энергетике [Электронный ресурс]. <https://www.eprussia.ru/epr/345-346/4513899.htm> (дата обращения: 15.09.23).
2. Примеры применения технологий Искусственного интеллекта. [Электронный ресурс]. <https://digital.gov.ru/uploaded/files/primeryi-primeneniya-tehnologij-iskusstvennogo> (дата обращения: 15.09.23).
3. Роль искусственного интеллекта в управлении возобновляемыми источниками энергии. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 15.09.23).
4. Какие задачи решают технологии искусственного интеллекта?. [Электронный ресурс]. <https://xn--38-6ксаакvzsqni5с5b.xn--p1ai/fakty/kakie-zadaci-resayut-tehnologii-iskusstvennogo-intellekta> (дата обращения: 15.09.23).
5. Роль машинного обучения в обеспечении кибербезопасности. [Электронный ресурс]. <https://na-journal.ru/5-2023-informacionnye-tehnologii/5506-rol-mashinnogo-obucheniya-v-obespechenii-kiberbezopasnosti> (дата обращения: 15.09.23).
6. Агентство промышленного развития 2019// "Технологии искусственного интеллекта" [Электронный ресурс]. <https://apr.moscow/content/data/6/11%20Технологии%20искусственного%20интеллекта.pdf> (дата обращения: 15.09.23).
7. Журнал ГАЗ-ИНФОРМ №1 (63) 2019 // Искусственный интеллект как «бог из машины»: стоит ли AI доверить управление энергетическими системами [Электронный ресурс]. [https://www.sptek-gazklub.ru/zhurnal-gazinform/zhurnal\\_gaz\\_inform\\_1\\_63\\_2019/iskusstvennyy\\_intellekt\\_kak\\_bog\\_iz\\_mashiny\\_stoit\\_li\\_ai\\_doverit\\_upravlenie\\_energeticheskimi\\_sistemami/](https://www.sptek-gazklub.ru/zhurnal-gazinform/zhurnal_gaz_inform_1_63_2019/iskusstvennyy_intellekt_kak_bog_iz_mashiny_stoit_li_ai_doverit_upravlenie_energeticheskimi_sistemami/) (дата обращения 15.09.23).

УДК 620.92:504.06

## РАСЧЕТ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Данила Валерьевич Иванов

Науч. рук. канд. хим. наук, доцент. А.В. Танеева

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

Ivanovdaniila562@gmail.com

**Аннотация.** В работе обоснована актуальность использования биогазовой установки для сельского хозяйства. Это существенно поможет снизить расходы на природный газ и уменьшить выбрасываемые отходы, которые не утилизировались.

**Ключевые слова:** биогаз, биогазовая технология, биогазовая установка, утилизация отходов.

## **CALCULATION OF BIOGAS PLANT FOR AGRICULTURAL PRODUCTION**

Danila V. Ivanov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Ivanovdanila562@gmail.com

**Abstract.** The paper substantiates the relevance of using biogas plant for agriculture. This will significantly help to reduce the cost of natural gas and reduce the emitted waste, which was not utilized.

**Keywords:** biogas, biogas technology, biogas plant, waste utilization.

Одним из эффективных источников возобновляемой энергии является биогаз, который получается из разнообразных органических отходов сельского хозяйства в процессе анаэробного метаногенеза. Физические и химические свойства биогаза зависят от содержания разного рода компонентов, а также их характеристик [1]. Необходимых для нас компонентов биогаза два, одним из которых является метан ( $\text{CH}_4$ ), а вторым диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), однако содержание метана может сильно отличаться, но будет варьироваться в пределах от 50 до 80%, а содержание диоксида углерода - от 50 до 20% соответственно. Домашние животные, находящиеся на животноводческих фермах, производят наиболее подходящее сырье для получения биогаза, потому что содержат в себе большое количество органических веществ [2].

Однако, помимо них, также можно использовать и другие сельскохозяйственные отходы, такие как солома, трава, ботва и другие. Это позволяет максимально использовать доступные ресурсы и снизить количество органических отходов, которые попадают на свалку или сжигаются, вызывая загрязнение окружающей среды [3].

Мной была рассмотрена возможность строительства биогазовой станции в фермерском хозяйстве села Кузнечиха, Спасского района Республики Татарстан. Мы рассмотрели технологическую схему производства биогаза на фермерском хозяйстве с 140 головами КРС на



откорме. В качестве системы удаления навоза и здания для содержания КРС мы используем гидросмыв.

По известным методикам был проведен расчет, позволяющий определить теоретический валовый потенциал биогаза проектируемой биогазовой станции [4]. Был определен объем единовременной загрузки метантенка, который составлял 4055 кг/сут.

Таблица 1

Результаты расчета основных характеристик биогазовой установки

Объем единовременной загрузки метантенка, кг/сут	6083
Доля С В в загружаемом материале, кг/сут	1217
Доля СО В, кг/сут	974
Выход биогаза при полном разложении СО В, м <sup>3</sup> /сут	409
Объем полученного биогаза при выбранной продолжительности метанового брожения, м <sup>3</sup> /сут	245,4
Объемом полной загрузки метантенка, м <sup>3</sup>	122

Чтобы обеспечить эффективную работу установки нужно установить тепловую изоляцию. Она должна иметь хорошие изолирующие свойства, быть доступной и недорогой. Мы рекомендуем использовать тепловую изоляцию Isover типа "Профи", которая поставляется в виде матов с покрывным слоем из оцинкованной стали толщиной 0,55 мм [5].

Нами было определена площадь поверхности реактора, которая составляет 103 м<sup>2</sup>, и учитывая, что будут использоваться два параллельно работающих метантенка, суммарная площадь поверхности составит 206 м<sup>2</sup>. Проведенные расчеты показали, что наиболее экономически выгодной толщиной изоляции является 200 мм. Для ее выполнения мы предлагаем использовать маты Isover "Профи" толщиной 50 и 150 мм. Также было определено количество теплоты, которое будет потеряно через стенку реактора в окружающую среду при выбранной толщине изоляции и минимальной температуре воздуха -48 °С [6].

Таблица 2

Полученные итоги расчетов энергетических характеристик проектируемой биогазовой установки

Количество теплоты, необходимое для подогрева загружаемой массы до температуры процесса брожения в сутки МДж/сут	720
--	-----

Количество теплоты, теряемой через стенку реактора окружающую среду Мдж/ч	17,6
Общие затраты энергии на поддержание процесса, МДж/сут	1142,4
Потенциальные запасы энергии биогаза, выработанного за сутки, МДж/сут	5300,6
Энергетический эффект установки, МДж/сут	4158,2
Коэффициент товарности биогазовой установки	1,27
Валовый потенциал энергии биогаза, кВт·ч/сут	1472
Валовый потенциал тепловой энергии биогаза, ГКалл/сут	1,27
Теоретический потенциал, кВт	61,3

### Источники

1. Ахмерова Г.М. Особенности выбора различных схем присоединения подогревателей горячего водоснабжения к тепловым сетям/ Издательство КГАСУ, Казань. 2018. №70. С 248-249.

2. Эфендиев А.М. и др. Возможности энергообеспечения фермерских хозяйств на базе малых возобновляемых источников энергии //Теплоэнергетика. 2016. №2. С. 38–45.

3. Тиллоев Л.И., Давронов Ф.Р.У. Методика расчета биогазовой установки для переработки биомассы // Вопросы науки и образования. 2017. №2 (3). С. 60-61.

4. Опыт получения биогаза и удобрений из стоков животноводческих ферм / Л.Г. Горковенко, Н.П. Ледин, И.Н. Ледин, Е.Л. Мурадова; СКНИИЖ. - Краснодар, 2011. - 220 с.

5. Королев С.А., Майков Д.В. Оптимизация двухстадийного режима метаногенеза на основе принципа максимума Понтрягина // Advanced engineering research. 2019. Т.19. №2. С. 195 – 203. <https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-2-195-203>

6. Лаптев А.Г., Лаптева Е.А., Шагиева Г.К. Повышение эффективности очистки воды от растворенных газов на ТЭС// Теплоэнергетика. 2017. №1. с. 79-83.

## СПОСОБЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ АРМАТУРОЙ

Адель Ильнурович Калимуллин

Науч. рук. д.т.н., проф. Олег Валерьевич Радайкин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
adelkalim17@yandex.ru

**Аннотация.** В статье предложены способы вычисления нелинейной деформационной модели для расчета монолитных перекрытий с предварительно напряженной арматурой, а также дано описание самой модели.

**Ключевые слова:** нелинейная деформационная модель, предварительно напряженная арматура, монолитные перекрытия, расчет.

## METHODS OF CALCULATION OF A NONLINEAR DEFORMATION MODEL FOR THE CALCULATION OF MONOLITHIC OVERLAPS WITH PRESTRESSED REINFORCEMENT

Adel I. Kalimullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
adelkalim17@yandex.ru

**Abstract.** The article offers methods for calculating a nonlinear deformation model for calculating monolithic overlaps with prestressed reinforcement, as well as a description of the model itself.

**Keywords:** nonlinear deformation model, prestressed reinforcement, monolithic overlaps, calculation.

Монолитные перекрытия с предварительно напряженной арматурой используются повсеместно, ведь технология преднапряжения позволяет значительно улучшить прочность конструкций из железобетона. Более того, они становятся более выносливыми и долговечными [1]. В свою очередь, при расчете прочности таких конструкций обычно применяют специальную методологию. Она основана на теории состояний, которые называются предельными. Исходя из данной теории, конструкцию из железобетона можно назвать разрушенной, если несущую способность железобетона

превышают усилия, которые вызваны внешними нагрузками [2]. А для расчета наиболее подходящей является нелинейная деформационная модель, так как она точнее, если рассматривать это из позиции моделирования процесса деформации конструкции. А ведь в реальных условиях деформаций, или нагрузок нелинейно деформационная модель дает возможность с большой точностью предсказать поведение и дать оценку монолитным перекрытиям с преднапряженной арматурой [3]. Именно поэтому при расчете железобетонных конструкций применяют данную модель, и очень важно ее совершенствовать, чтобы точность расчета и затем прочность конструкций возрастали.

Способами улучшения такой модели занималась Никулина Ю.А., которая в своей статье [4] предлагает при расчете предварительно напряженных изгибаемых железобетонных элементов учитывать, что в сечении элемента применяется не только напрягаемая высокопрочная арматура, но и обычная арматура. С учетом гипотезы плоских сечений были получены следующие условия деформации:

$$\frac{\varepsilon_{btu}}{x_t} = \frac{\varepsilon_{bc}}{x_c}; \quad (1)$$

$$x_t = h - x_c; \quad (2)$$

$$\frac{\varepsilon_{sc}}{\varepsilon_{bc}} = 1 - \frac{a_c}{x_c}; \quad (3)$$

$$\frac{\varepsilon_{st}}{\varepsilon_{btu}} = 1 - \frac{a_t}{x_t}; \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{btu}$ ,  $\varepsilon_{bc}$ ,  $\varepsilon_{sc}$ ,  $\varepsilon_{st}$  – интегральные геометрические характеристики;  $x_t$ ,  $x_c$  – высота растянутой и сжатой зон бетона, соответственно;  $a_c$ ,  $a_t$  – расстояния от верхней и нижней граней сечения до центров тяжести сжатой и растянутой арматуры.

Так получилась замкнутая система уравнений. Она позволяет получить определение напряженно – деформированного состояния элементов из железобетона, подвергающихся изгибу еще на уровне трещинообразования. А величина предварительного напряжения довольно существенно влияет на трещиностойкость сечения, которую и позволяет более эффективно определить данный алгоритм.

Следующим методом для расчета нелинейной деформационной модели является способ итераций [5]. То есть расчет проводят в несколько этапов, что повышает точность самого расчета и конечного результата. Данный расчет ведут в таком порядке: сначала задают класс бетона,

размеры, армирование; затем сечение стержня разделяют на несколько частей; определяются площади арматуры и участков; далее создают начало координат, а также у участков определяют центры тяжести; и в дополнение определяют относительную деформацию. Уже затем проводят последовательные итерационные расчеты. Было выявлено, что для решения поставленной задачи с минимальной погрешностью будет достаточно 3 – 5 итераций. А коэффициент запаса возрастает, если сравнивать с расчетом по нормативной методике.

Таким образом, существуют несколько способов по улучшению вычисления нелинейной деформационной модели при расчете монолитных перекрытий с предварительно напряженной арматурой. Первый способ основан на допущении, что в сечении элемента применяется не только напрягаемая высокопрочная арматура, но и обычная арматура. А вторым способом является метод итераций.

### **Источники**

1. Зюзина О. В. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных предварительно напряженной поперечной арматурой //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2020. – Т. 16. – №. 6. – С. 504-512.

2. Маилян Д.Р., Маилян Р.Л., Осипов М.В. Железобетонные балки с предварительным напряжением на отдельных участках // Бетон и железобетон. 2002. № 2. С. 18—20.

3. Тамразян А.Г. Особенности расчета изгибаемых железобетонных элементов прямоугольного сечения согласно EC2 // Бетон и железобетон. 2012. № 1. С. 19-23.

4. Никулина Ю. А. Использование нелинейной деформационной расчетной модели для определения трещиностойкости железобетонных предварительно напряженных балок //Международный студенческий строительный форум-2018 (к 165-летию со дня рождения ВГ Шухова). – 2018. – С. 133-140.

5. Шевченко А. В., Давидюк А. А., Баглаев Н. Н. Метод итераций для расчета железобетонных элементов на основе нелинейной деформационной модели //Промышленное и гражданское строительство. – 2022. – №. 3. – С. 13-18.

## ВЛИЯНИЕ ВЫСТУПА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВСАСЫВАНИЯ МЕСТНОГО ОТСОСА

Тимур Алексеевич Козлов

Науч. рук. канд. техн. наук, Евгений Николаевич Попов

ФГБОУ ВО «БГТУ им. В.Г. Шухова»

kozlov\_timur@vk.com

**Аннотация.** В статье исследовалось влияние выступа на эффективность всасывания местного отсоса по параметру коэффициенту местного сопротивления. Представлены результаты численного исследования, выполненные в программном комплексе Solidworks.

**Ключевые слова:** CFD, местный отсос, вытяжной зонт, численное исследование, КМС, коэффициент местного сопротивления.

## INFLUENCE OF PROJECTION ON THE EFFICIENCY OF LOCAL SUCTION

Timur A. Kozlov

BSTU n.a. V.G. Shukhov

kozlov\_timur@vk.com

**Abstract.** The article investigated the influence of the protrusion on the suction efficiency of local suction using the local resistance coefficient parameter. The results of a numerical study performed in the Solidworks software package are presented.

**Keywords:** CFD, local suction, exhaust hood, numerical study, KMS, local resistance coefficient.

Местная вытяжная вентиляция применяется для обеспечения необходимого микроклимата в различных помещениях. Одним из элементов систем местной вентиляции является местный отсос, который улавливает потоки теплоты, сварочные и пылевые аэрозоли, парогазовые смеси, запахи, испарения и дым. Вытяжные зонты или раструбы имеют круглую квадратную, щелевую или прямоугольную формы [1]. Вытяжные зонты рассмотрены в статьях без различных уступов или выступов, которые, как утверждается в ряде источников, повышают их эффективность [3, 4] или используются в технологических целях – для

установки креплений для подвеса зонта или установки жироуловителей или других первичных очистных устройств [2].

В работе проведено численное исследование, при помощи CFD моделирования, с использованием программного комплекса Solidworks, с её решателем, Flow Simulation (FloEFD). Проводится определение сопротивления такого местного отсоса для размеров полки раструба длиной  $d/R = 2$  калибров, углов наклона  $90^\circ, 75^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$  и размеров выступа  $d_v/R = 0,5, 1, 2$  [2].

Исследование влияния наличия выступа и его длины на коэффициент местного сопротивления (далее КМС) отсоса, определялись по формуле (1) из [5]:

$$\zeta = \frac{P_0 - P_k - \Delta P_{тр}}{P_{дин}} \quad (1)$$

где,  $P_0$  – полное давление на входе в отсос-раструб, Па;  $P_k$  – полное давление на выходе из канала, Па;  $\Delta P_{тр}$  – потери давления на трение в канале,  $P_{дин} = \rho \cdot v_0^2 / 2$  – динамическое давление в канале, Па.

Построены графики зависимостей КМС для круглых отсосов-раструбов с выступами (см. рисунок 1), при разных размерах раструба, угла наклона и длины выступа, аппроксимируются по формуле (2):

$$\zeta_{расч} = -0.0227 + 0.2952\alpha - 0.0085d/R - 0.0059d_v/R + 0.0131\alpha d/R - 0.0108\alpha d_v/R + 0.0026dd_v/R^2 - 0.0022\alpha^2 - 0.0011(d/R)^2 + 0.0011(d_v/R)^2, \quad (2)$$

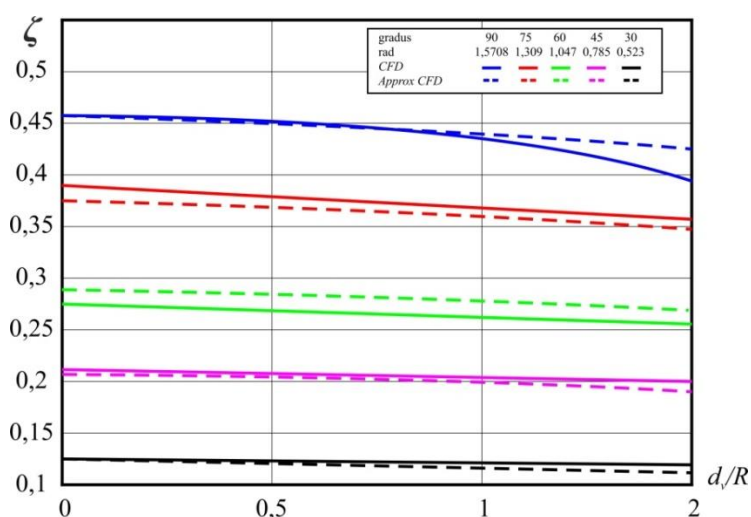


Рис. 1. Зависимость КМС местного отсоса длиной раструба 2 калибров при разных размерах выступа

Таким образом, можно констатировать, наличие выступа влияет на эффективность захвата отсосом-раструбом, хоть и осевая скорость

подтекающего к нему воздуха уменьшается, увеличивая размеры ВЗ, но при этом, снижается значения КМС.

Выводы:

Произведена оценка влияния выступа на КМС при разных его размерах, где у обоих методов наблюдается снижение сопротивления, в зависимости от увеличения длины выступа.

В дальнейшем, представляет интерес произвести более подробные натурные экспериментальные исследования.

### **Источники**

1. Аверкова, О. А. Моделирование процессов обеспыливания технологического оборудования. Методы, алгоритмы, вычислительный и натурный эксперименты, практические рекомендации / О. А. Аверкова. — Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. — 365 с.

2. Аверкова О.А., Логачёв К.И., Козлов Т.А., Попов Е.Н. Моделирование отрыва потока при входе в круглые отсосы с выступом // Новые огнеупоры. - 2020. - №4. - С. 65-70.

3. Посохин В.Н. Аэродинамика вентиляции. - Москва: АВОК-ПРЕСС, 2008. - 209 с.

4. В.Н. Богословский, И.А. Шепелев, В.М. Эльтерман. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - 3-е изд. - Москва: Стройиздат, 1977. - 209 с.

5. А.М. Зиганшин, К.И. Логачев. Вихревая вентиляция. - М. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2022. - 288 с.

УДК 62-71

## **МЕТОДЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ВОДОЙ И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДАННОГО ПРОЦЕССА**

Кирилл Михайлович Маслов

Науч. рук. к.т.н., доцент Елена Анатольевна Лаптева

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

kirill-maslov-98@mail.ru



**Аннотация.** В статье предложены различные методы по охлаждению воздуха водой. Описаны принципы работы установок по охлаждению, а также способы повышения эффективности данного процесса.

**Ключевые слова:** охлаждение воздуха, охлаждение водой, повышение эффективности.

## **METHODS OF COOLING AIR WITH WATER AND WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THIS PROCESS**

Kirill M. Maslov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

kirill-maslov-98@mail.ru

**Abstract.** The article suggests various methods for cooling air with water. The principles of operation of cooling units are described, as well as ways to improve the efficiency of this process.

**Keywords:** air cooling, water cooling, efficiency improvement.

В современном мире охлаждение воздуха – весьма важный технологический процесс. Ведь любому предприятию важно иметь не только холодную воду в распоряжении, но и воздух [1]. Например, холодный воздух нужен, чтобы обеспечить соответствующие условия на рабочих местах. Такой воздух используется для спасения производственных помещений от перегрева. А ведь высокие температуры воздуха на рабочих местах опасны тем, что они приводят к перегреву органов дыхания, вызывают обезвоживание организма и ухудшают самочувствие рабочего персонала [2]. Да и в целом, работа при высоких температурах воздуха не скажется положительно на установках, приборах на производстве, так как возникает риск перегрева [3]. Поэтому охлаждение воздуха водой – довольно полезно в производстве, и очень важно заниматься проблематикой такого процесса, а именно, улучшением его эффективности [4].

Этим, например, занимались Кочетов О.С. и Стареева М.О., которые предложили установку охлаждения воздуха с испарением рециркулирующей воды (см. рисунок) [5].

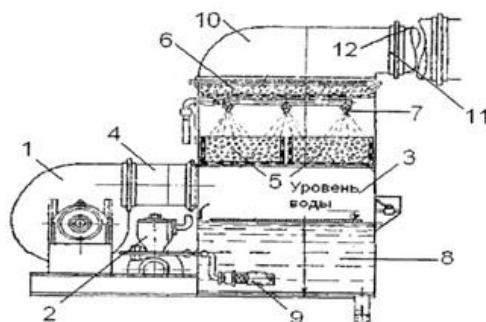


Рис. 1. Установка охлаждения воздуха с испарением рециркулирующей воды: 1 – центробежный вентилятор, 2 – центробежный насос, 3 – камера охлаждения воздуха, 4 – патрубок, 5 – перфорированные контейнеры с фарфоровыми кольцами, 6 – слой фарфоровых колец, 7 – форсунки, 8 – бак для стока неиспарившейся воды, 9 – сетчатый фильтр, 10 – патрубок, 11 – прямоугольное отверстие, 12 – воздуховод

То есть эффект обдувания достигается, благодаря движению воздуха, а это возможно только при невысокой температуре. Например, если в помещении температура воздуха выше  $28^{\circ}\text{C}$ , то его уже нужно охлаждать. Вообще в этой установке используется принцип испарения рециркулирующей воды. Сначала воздух вдувается в установку. Далее он проходит слой колец, которые орошаются водой из форсунок, то есть воздух увлажняется. А уже потом воздух проходит слой, состоящий из сухих колец. Такой слой играет роль каплеуловителя. В результате воздух выходит уже охлажденным, тем самым улучшая микроклимат в горячих рабочих цехах предприятий.

В свою очередь, Никитин А.А. и др. в своей статье [6] привели другую установку по охлаждению воздуха. Это устройство для охлаждения воздуха, основой которого является диффузор – конфузорная труба. Принцип работы такой, что сначала подается горячий воздух, который нужно охладить. Далее происходит смесеобразование данной воздуха с холодной водой, и затем эта смесь отправляется сначала в трубу, а уже потом в диффузор – конфузорные части. Здесь происходит пульсация всего потока и значительно возрастает теплообмен между водой и воздухом, то есть сам воздух охлаждается каплями воды. В диффузорной части повышается пульсирующее действие потока, а в конфузорной части поток уплотняется, а также создаются пристеночные вихри. Затем в данных вихрях происходит процесс сжатия, который повышает угловую скорость капель воды, тем самым и повышается кинетическая энергия вихревого вращения. А все эти процессы в целом увеличивают эффективность теплообмена в данной установке. В результате воздух

охлаждается до норм, при которых возможно работать в рабочих цехах, или глубоких шахтах.

Таким образом, существуют несколько различных способов по охлаждению воздуха водой с разными установками, повышающие эффективность охлаждения воздуха до нужных параметров. Ведь благодаря этому, достигаются рабочие температуры воздуха, при которых персонал предприятия может спокойно работать в цеху без рисков для здоровья, а оборудования будет меньше перегреваться.

### **Источники**

1. Гаранов С. А. и др. Водоиспарительное и комбинированное охлаждение воздуха //Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – №. 1 (13). – С. 40.

2. Высоцкая Е. А., Корнев А. С., Полковников Е. В. Негативное воздействие систем кондиционирования воздуха на организм человека //Наука вчера, сегодня, завтра. – 2016. – С. 212-217.

3. Лаптева Е.А., Лаптев А.Г. Модели и расчет эффективности охлаждения газов и жидкостей в пенных и пленочных аппаратах// Теор. основы хим. техн. – 2016. Т. 50. № 4. – С. 432-441.

4. Лаптева Е.А., Лаптев А.Г. Математическая модель и энергоэффективность охлаждения газов и жидкостей в насадочных скрубберах и градирнях// Моделирование энергоинформационных процессов: Сборник статей X национальной научно-практической конференции с международным участием, Воронеж, 21–23 декабря 2021 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2022. – С. 239-245.

5. Установка охлаждения воздуха с испарением рециркулирующей воды: пат. 2452902 Рос. Федерация № 2010129603/12; заявл. 19.07.10; опубл. 27.01.12, Бюл. № 16.

6. Никитин А. А., Рябова Т. В., Поддубный Р. А. Процессы обработки воздуха в системах кондиционирования воздуха //Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Холодильная техника и кондиционирование». – 2015. – №. 2. – С. 38-44.

## КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Гульфия Равилевна Мустафина

Науч. рук. к.т.н, доцент Линар Альфредович Шарафутдинов

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

gulfia999@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены виды резервуаров, различающиеся по таким категориям, как расположение, назначение, привязка, конструкция. Также приведены формы резервуаров и их отличительные особенности.

**Ключевые слова:** резервуар, ёмкость, конструкция, железобетон, форма.

## STRUCTURES OF REINFORCED CONCRETE TANKS

Gulfiya R. Mustafina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

gulfia999@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the types of tanks that differ in categories such as location, purpose, binding, design. The forms of tanks and their distinctive features are also given.

**Keywords:** tank, tank, structure, reinforced concrete, shape.

Одним из значимых элементов водоснабжения является резервуар, предназначенный для хранения воды. Виды резервуаров можно подразделить на следующие категории:

- в зависимости от расположения (рис.1);
- по назначению (рис.2);
- по вертикальной привязке (рис.3);
- по конструктивным особенностям (рис.4) [1].

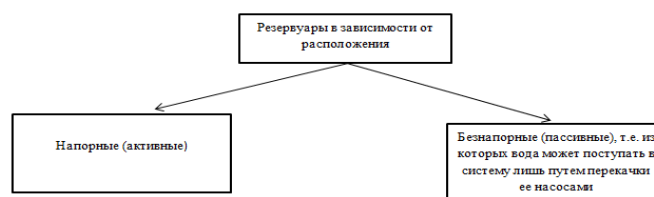


Рис.1. Резервуары в зависимости от расположения

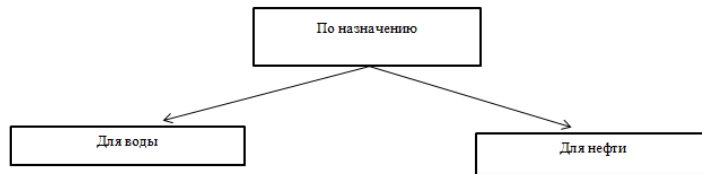


Рис.2. Резервуары в зависимости от назначения

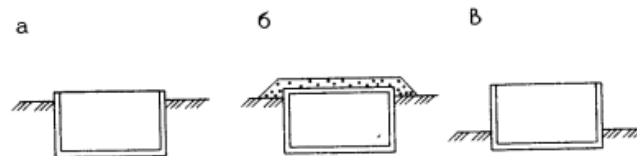


Рис.3. а – заглубленные открытые (отстойники, нефтеловушки); б – заглубленные закрытые (резервуары для воды); в – наземные открытые (фильтры)

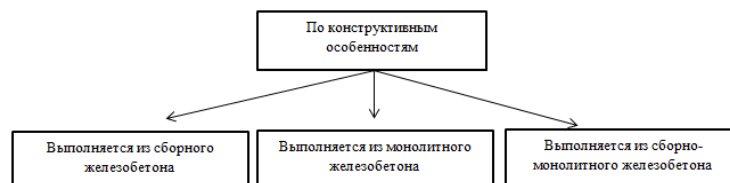


Рис.4. Конструкция резервуаров

По вертикальной привязке резервуары проектируют наземными, подземными и полузаглубленными [2].

В соответствии с результатами технико-экономических и технологических расчетов определяется форма резервуара и его размер. В основном проектируются прямоугольная или цилиндрическая форма резервуара, а сферическую или торовую используют в редких случаях [3].

Наиболее популярные конструктивные формы резервуаров приведены на рис.5. На рис а – прямоугольная, овальная или круглая форма, на рис.б – показаны стены резервуара, которые в данном случае могут быть вертикальными, наклонными и в виде оболочек [4].

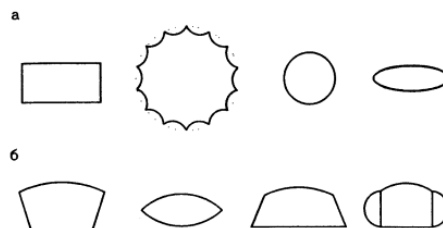


Рис.5. Конструктивные формы резервуаров: а – формы резервуаров в плане, б – варианты стен

Кроме того, по конструкции резервуары могут проектироваться:

- без покрытия;
- с покрытием. (рис.6)

Сами покрытия выполняются с применением следующих конструкций:

- пространственных;
- плоских;
- комбинированных.(рис.6а)

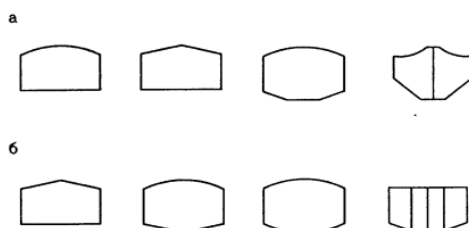


Рис 6. Конструктивные формы резервуаров: а – варианты покрытий; б – варианты днища

При высоком давлении, воздействующее на стенку резервуара, для снижения проектируется сферическая, призматическая или коническая форма днища (рис. 6б) [5].

### 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

4. 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

5. 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 628.356.51

## КОНСТРУКЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ

Гульфия Равилевна Мустафина

Науч. рук. к.т.н, доцент Линар Альфредович Шарафутдинов

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

gulfia999@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены конструкции цилиндрических резервуаров, способы их изготовления и необходимые для этого материалы, и их сравнение. Приведены сборные и монолитные цилиндрические резервуары, стандартные размеры, а также узел сопряжения панелей с дном емкости.

**Ключевые слова:** резервуар, ёмкость, конструкция, железобетон, форма.

## DESIGNS OF CYLINDRICAL TANKS

Mustafina Gulfiya Ravilyevna

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

gulfia999@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the design of cylindrical tanks, the methods of their manufacture and the materials necessary for this, and their comparison. Prefabricated and monolithic cylindrical tanks, standard sizes, as well as the junction of panels with the bottom of the tank are given.

**Keywords:** tank, tank, structure, reinforced concrete, shape.

При возведении емкостных сооружений большого объема изготавливаются сборные резервуары, а при строительстве небольшой емкости рациональнее производить строительство из монолитного железобетона. Второй вариант наиболее экономичен, но недостатком выступает то, что при этом необходима сложная опалубка [1].

В плане круглые резервуары могут исполняться в плоском, пространственном и комбинированном виде.

На рис.1 приведен монолитный цилиндрический резервуар с плоскими безбалочными покрытиями, колоннами с накопителями, гладкими стенами и плоским дном [2].

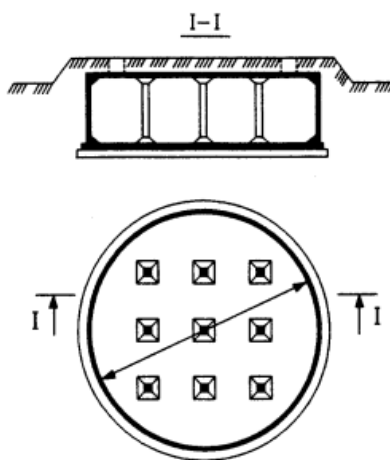


Рис.1 Монолитный цилиндрический резервуар с безбалочным покрытием

На рис.2 приведены сборные цилиндрические резервуары, покрытия которых изготовлены из ребристых или же плоских плит трапецевидной формы, укладываемые по кольцевым балкам, опирающиеся на колонны [3].

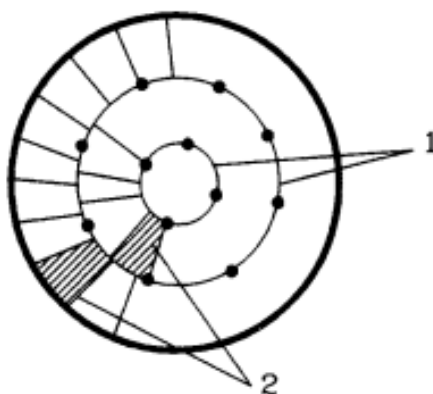


Рис.2 Схема сборного покрытия цилиндрического резервуара. 1 – кольцевые балки; 2 – трапецевидные плиты с ребрами по периметру

Высота стен цилиндрических емкостных сооружений, выполняющиеся из сборных панелей, соответствуют высоте резервуара, а их ширина равно 1,57 м или 3,14 м. По данной ширине размещаются плиты без доборных элементов. Стеновые панели устанавливаются в паз между двумя кольцевыми ребрами по периметру дна. На рис. 3а приведено жесткое сопряжение стеновых панелей с дном, которое исключает радиальное



перемещение стенки, а также на рис.3б приведено иное сопряжение с возможностью перемещений [4].

Свободное перемещение стенки при ее обжатии обеспечивается при замоноличивании паз после натяжения кольцевой арматуры. Для напрягаемой арматуры используют канаты, стержни, проволоки. До 30 мм покрывается кольцевая арматура слоем торкретбетона [5].

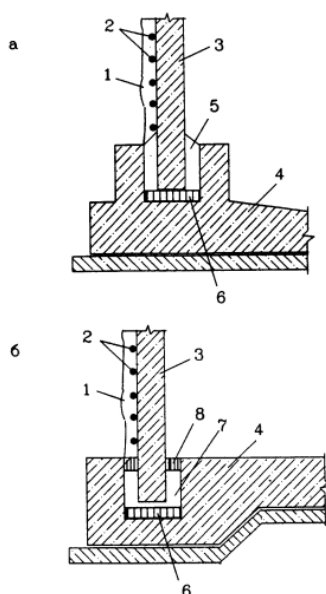


Рис.3 Узел сопряжения стеновых панелей с дном: а – жесткое сопряжение; б – подвижное. 1 – слой торкрет-бетона, 2 – кольцевая напрягаемая арматура, 3 – стеновая панель, 4 – дном, 5 – бетон со щебнем мелких фракций, 6 – выравнивающий слой раствора, 7 – битумная мастика, 8 – асбестоцементный раствор

### 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

4. 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

5. 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

## **КОНСТРУКЦИИ УЗЛОВ СОЕДИНЕНИЙ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕЗЕРВУАРЕ**

Гульфия Равилевна Мустафина

Науч. рук. к.т.н, доцент Линар Альфредович Шарафутдинов

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

[gulfia999@gmail.com](mailto:gulfia999@gmail.com)

**Аннотация.** В статье рассмотрены конструкции узлов соединений несущих элементов резервуара. Приведены расчетные схемы и конструкции узлов, типовых цилиндрических резервуаров. Также указаны параметры, необходимые при проектировании.

**Ключевые слова:** резервуар, ёмкость, конструкция, железобетон, форма.

## **DESIGNS OF NODES OF CONNECTIONS OF BEARING ELEMENTS IN THE TANK**

Gulfiya R. Mustafina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[gulfia999@gmail.com](mailto:gulfia999@gmail.com)

**Abstract.** The article discusses the designs of the joints of the bearing elements of the tank. The design schemes and designs of nodes, typical cylindrical tanks are given. The parameters necessary for the design are also specified.

**Keywords:** tank, tank, structure, reinforced concrete, shape.

Конструкции узлов соединений несущих элементов резервуара

Важнейшей задачей при проектировании резервуаров выступает разработка конструкции узловых соединений несущих элементов.

Получившиеся в результате узлы сопряжения стен с днищем и покрытием должны быть устойчивыми при эксплуатации резервуара [1].

Конструктивные виды узлов соединений несущих элементов резервуара показаны на рис.1 и рис.2 [2].

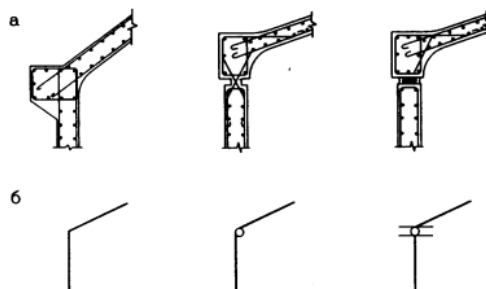


Рис.1 Узлы сопряжения стен с пространственными конструкциями покрытий резервуаров.  
а – конструктивные решения, б – расчетные схемы

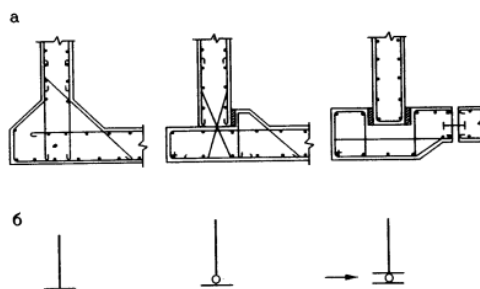


Рис.2. Узлы железобетонных резервуаров при соединении стен с днищем. а – конструктивные решения, б – расчетные схемы

Проектирование выполняется при шарнирно-подвижной опоры стыка стены с днищем и покрытием с применением эластичной резиновой прокладки. В данном случае обеспечивается плотное обжатие стен по имеющейся высоте, в том числе прилегающие к опоре, кроме того, наблюдается свободная радиальная деформация стенок.

На сегодняшний день при изготовлении резервуаров в основном используются железобетонные конструкции, а его объем составляет 50-1250 м<sup>3</sup>[3].

Стандартные размеры прямоугольных и круглых железобетонных резервуаров в соответствии с нормативом кратны 3 м, а по высоте 0,6 м. При длине стороны и диаметре конструкции меньше 9 м возможно принять размеры кратные 1 м и 1,5 м соответственно для круглых и прямоугольных резервуаров [4].

Марка бетона для стен и днищ устанавливается следующего класса: В15-В35, по характеристике водонепроницаемости и морозостойкости W4-W10 и F100-F200. С целью армирования применяется арматура класса А-I, А-

II, A-III, Bp-I, а также предварительно-напряженный класс Bp-II, A-IV и более.

Ниже приведены таблицы 1 и 2 с унифицированными параметрами цилиндрических и прямоугольных соответственно резервуаров для воды [5].

Таблица 1

Унифицированные параметры цилиндрических резервуаров для воды

Параметр	Объем резервуара, м <sup>3</sup>							
	100	150	250	500	1000	2000	3000	6000
Диаметр, м	6,5	8	10	12	18	24	30	42
Высота, м	3,6	3,6	3,6	1,8	4,8	4,8	4,8	4,8

Таблица 2

Унифицированные параметры прямоугольных резервуаров для воды

Параметр	Объем резервуара, м <sup>3</sup>								
	100	250	500	1000	2000	3000	6000	10000	20000
Размеры в плане, м	6x6	6x12	12x12	12x18	18x24	24x30	36x36	48x48	66x66
Высота, м	3,6	3,6	3,6	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

Важно учесть следующее при проектировании железобетонных резервуаров:

- наличие вентиляции;
- наличие гидроизоляции;
- гладкая поверхность;
- водонепроницаемость.

### 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

4. 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

5. 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 644.1

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА**

Арина Владимировна Напойкина

Науч. рук. д.т.н., доц. Ирина Гареевна Ахметова

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

napoykina34@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены принцип работы теплового насоса и перспективы его использования для выработки тепловой энергии для теплоснабжения жилого дома. Даны их характеристики, схема, и определено, чем схема теплоснабжения на основе теплового насоса отличается от иных. Рассчитана эффективность применения теплового насоса на основе стандартного набора теплоснабжающего оборудования.

**Ключевые слова:** тепловой насос, теплоснабжение, дом, энергоэффективность, схема, теплоноситель.

## **DESIGN OF HEAT SUPPLY SYSTEMS WITH HEAT PUMP FOR AN INDIVIDUAL RESIDENTIAL HOUSE**

Arina V. Napoykina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

napoykina34@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the operating principle of a heat pump and the prospects for its use to generate thermal energy for heating a residential building. Their characteristics and diagram are given, and it is determined how the heat supply scheme based on a heat pump differs from others. The efficiency of using a heat pump based on a standard set of heat supply equipment has been calculated.

**Keywords:** heat pump, heat supply, house, energy efficiency, circuit, coolant.

Последнее десятилетие в мировой практике можно назвать десятилетием энергосбережения – сегодня довольно острым становится проблема дефицита не возобновляемых природных энергоресурсов, поэтому человечество активно занялось поиском энергосберегающих технологий генерации теплоты. В качестве перспективных аналогов рассматривают тепловые насосы.

Тепловой насос представляет собой устройство, отбирающее рассеянное тепло из окружающей среды – прежде всего из грунта – и переносит его в отопительный контур дома для дальнейшего распределения. Схема установки теплового контура теплового насоса представлена на рисунке.

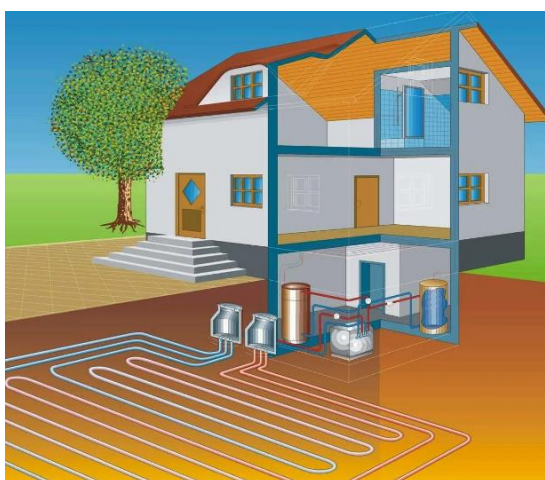


Схема установки теплового контура теплового насоса

Существуют различные варианты классификации тепловых насосов: по агрегатному состоянию возобновляемого низкотемпературного источника теплоты и нагреваемого вещества («вода-вода», «воздух-вода», «воздух-воздух» и т.п.); по типу используемого компрессорного оборудования (спиральные, поршневые, винтовые, турбокомпрессорные); по виду приводного двигателя; по применяемому рабочему телу – хладону (низкотемпературные, среднетемпературные, высокотемпературные) [2].

Грунтовые насосы отличаются друг от друга по мощности, поэтому подходят как для отопления частных домов, так и для предприятий [3]. Разберём преимущества более подробно:

Основными преимуществами системы отопления на основе теплового насоса являются: Низкая стоимость эксплуатации; Относительная автономность (нет зависимости от газа); Отсутствие дымохода; Удобство подключения теплого пола (Максимальная температура +45°C) – подходит для тепловых насосов вида «воздух-вода», максимальная температура нагрева рабочего тела которого +45°C; Высокая эффективность – коэффициент использования первичной энергии теплоносителя теплового насоса примерно равен  $\xi \approx 0,9$ , что в 1,5 раза больше того же коэффициента для отопительного котла [5]; Широкий диапазон применения – в России существенную долю составляет территория вечной мерзлоты, где в совокупности с тепловым насосом необходимо применять дополнительный источник генерации теплоты, однако в регионах, где температура наружного воздуха редко опускается ниже -40°C, спокойно можно применять классические тепловые насосы, нагревающие воду до +35-(+45)°C (для системы «теплый пол») или до +45-(+75)°C (для организации горячего водоснабжения дома) [4]; Экологичность – в отличие от традиционной котельной установки, выбросы парниковых газов от теплового насоса составляют порядка 922,5 т/год, в сравнении с 1743 т/год от котельной [2].

Мировые продажи тепловых насосов составляют свыше 1 млн. в год – основной долей являются покупатели из стран Евросоюза, занимающие лидирующее положение в сфере отопления частных домов [1]. В скором времени можно будет говорить о конкурентоспособности данного вида теплогенератора за счет своей простоты, энергоэкономичности и окупаемости.

## Источники

1. Дадацкий, А. В. Тепловой насос. Принцип работы теплового насоса / А. В. Дадацкий, П. Ю. Космовский // Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства : Сборник научных статей, Гродно, 23–24 мая 2019 года / Редколлегия: А.Р. Волик [и др.]. – Гродно: Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, 2019. – С. 172-174. – EDN VJJVFS.

2. Тепловой насос в системе теплоснабжения / А. Н. Долгова, Л. Ш. Хамидуллин, А. М. Кадыров [и др.] // Теоретические и практические

аспекты развития современной науки: теория, методология, практика : Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Уфа, 03 июня 2019 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2019. – С. 104-109. – EDN OUXKXW.

3. Куликова, А. В. Перспективы использования грунтовых тепловых насосов в Алтайском крае / А. В. Куликова, В. А. Сомин // Химия. Экология. Урбанистика. – 2020. – Т. 1. – С. 129-132. – EDN TSKRDY.

4. Дугинова, К. А. Подбор теплового насоса для индивидуального дома в разных зонах РФ / К. А. Дугинова // Вопросы устойчивого развития общества. – 2021. – № 6. – С. 636-640. – EDN QQNIOX.

5. Багаутдинов, И. З. Энергетическая оценка теплового насоса / И. З. Багаутдинов, Н. Е. Кувшинов // Инновационная наука. – 2016. – № 3-3. – С. 40-42. – EDN VQBFCJ.

УДК 621-313.3

## ПРОЧНОСТЬ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕН ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Надежда Вячеславовна Хнычева<sup>1</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук Олег Валерьевич Радайкин<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>vartsk@gmail.com, <sup>2</sup>olegxxii@mail.ru

**Аннотация.** 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.



# STRENGTH OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE WALLS OF CIVIL BUILDINGS

Nadezhda V. Khnycheva<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>vartsk@mail.ru

**Abstract.** 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 СП 63.13330.2018 «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.

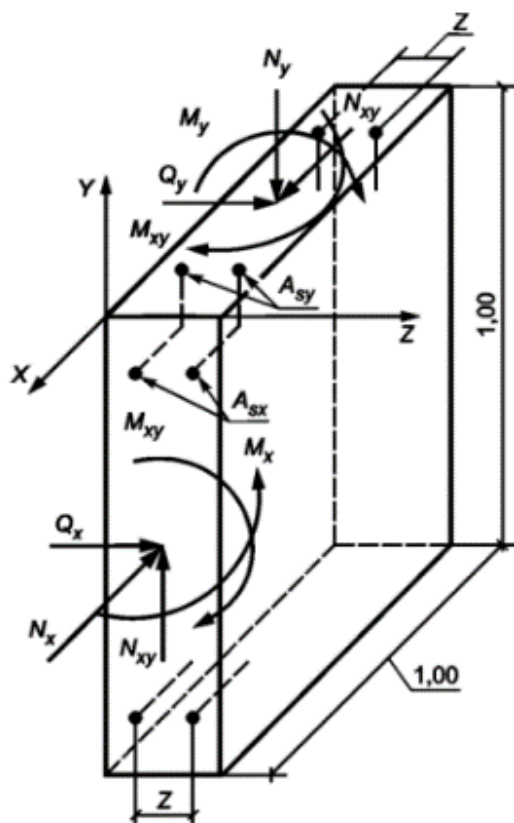


Схема усилий, действующих на выделенный плоский элемент единичной ширины стены

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 СП 63.13330 [2] производят уже с учётом изгибающего момента – как для внецентренно-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:

$$A_s = \frac{T}{f_{yd}} ; \quad (7)$$

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.- 139 с.

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 621-313.3

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ ТУРБОУСТАНОВОК ТИПА «Р» С ЦЕЛЬЮ ИХ ПЕРЕВОДА С ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ НА РАБОТУ ПО ТЕПЛОФИКАЦИОННОМУ ГРАФИКУ**

Софья Александровна Хорькова

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Альфия Шарифовна Низамова

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

horkovasofya@yandex.ru

**Аннотация.** В докладе рассматриваются вопросы ввода в эксплуатацию простаивающих и недоиспользуемых моделей турбин с противодавлением "Р", что является актуальной проблемой в энергетике. В докладе описаны возможные способы ввода таких турбин в эксплуатацию и подробно рассмотрена модернизация турбины "Р-40-130" с целью перевода ее с противодавления на работу по графику теплоснабжения. В отчете перечислены проблемы, с которыми автор столкнулся при модернизации турбины, и их решения.

**Ключевые слова:** модель, турбина, модернизация, теплофикационный график, энергоэффективность.

## **MODERNIZATION OF "P" TYPE TURBINE UNITS IN ORDER TO TRANSFER THEM FROM BACKPRESSURE TO OPERATION UNDER THE HEATING SCHEDULE**

Sofya A. Khorkova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

horkovasofya@yandex.ru

**Abstract.** The report considers the issues of putting idle and underutilized models of turbines with backpressure "P" into operation, which is an urgent problem in the power industry. The report describes possible ways of putting such turbines into operation and discusses in detail the modernization of the turbine "R-40-130" in order to transfer it from backpressure to operation according to the heat supply schedule. The report lists the problems the author encountered in modernizing the turbine and their solutions.

**Keywords:** model, turbine, modernization, heating schedule, energy efficiency.

## 1. Актуальность работы.

В последнее время в электроэнергетике наблюдается постоянное снижение тепловой мощности паровых турбин. Из анализа работы ТЭЦ можно видеть, что наибольшее снижение касается производственного пара, что привело к ухудшению экономических и эксплуатационных показателей ТЭЦ [1], а также значительному уменьшению выработки электроэнергии и еще более длительным простоям для турбин.

Важно отметить, что неиспользуемое оборудование не только не приносит прибыли, но и вызывает затраты на техническое обслуживание, содержание оператора, амортизацию и налоги. Особое внимание должно быть уделено проблемам коррозии паркингов и обслуживания запорной арматуры.

Особенно актуальной является проблема ввода в эксплуатацию простаивающих турбин "P", которые имеют значительный парковый ресурс из-за повышенного энергопотребления. Решение этой проблемы позволило бы провести техническое переоснащение основного оборудования ТЭЦ с минимальными затратами.

## 2. Варианты решения проблемы.

Существует несколько вариантов решения данной проблемы. Первый вариант состоит в установке новой приключенной турбины [4] с начальным давлением, равным давлению выхлопа турбины, то есть около 1,5 МПа. Другой вариант - использование в качестве турбины сопряжения ЦСД или ЦНД другой турбины (например, модели ПТ-80, 65, 140).

В литературе можно найти и другие варианты решений, включая использование турбины с противодавлением [2] или комбинированную схему P-40 + T-33, которая обеспечивает круглогодичную работу с паром или без него. Эти подходы требуют серьезных изменений в программе, включая нормативные акты, и закупку нового оборудования. Кроме того, реализация данных подходов занимает много времени и требует значительных затрат.

Один из возможных вариантов модернизации турбины "Р" предлагает снизить давление выхлопа турбины и отводить пар в котел или стационарный коллектор для расширения функциональных возможностей турбины за счет его использования в тепловой нагрузке. Этот метод модернизации особенно подходит для когенерационных проектов [3], где существует спрос на тепловую и электрическую энергию.

Однако, проблемами данного подхода являются увеличение осевых сил и изгибных напряжений на лопатках из-за снижения давления, что может привести к проблемам с последними ступенями турбины. Кроме того, возникают проблемы предотвращения разгона турбины на холостом ходу или при снижении нагрузки, а также снижения температуры рабочих лопаток последней ступени при малом расходе пара.

Для решения этих проблем были предложены различные подходы, включая использование байпасных паропроводов [5] для снижения напряжений и ограничения перепадов давления, установку ограничительных клапанов для поддержания постоянного давления, а также внедрение систем предотвращения превышения оборотов турбины на холостом ходу. Кроме того, были приняты меры по регулированию расхода пара для снижения температуры рабочих лопаток последней ступени при работе на холостом ходу.

Важно отметить, что данные решения были проверены и признаны эффективными для конкретных моделей турбин, и для других моделей могут потребоваться другие подходы. Также была предложена возможность возвращения турбины в исходный режим работы, однако это потребует изменений в системе управления и переключения схемы.

### **Источники**

1. Техничко-экономические показатели для энергетических установок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.gigavat.com/netradicionnaya\\_energetika\\_v-i-e\\_4.php](https://www.gigavat.com/netradicionnaya_energetika_v-i-e_4.php)
2. Схема паротурбинной установки, патент - 2189455 приоритет от 13.11.2002г., Свидетельство на полезную модель - 10421, 14972. Паровая турбина,
3. Гудков С.А., Лебедева Е.А. КОГЕНЕРАЦИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК – 2012г.
4. Соловей Д.Н., Пожаров А.В. Использование приключенных турбин для повышения тепловой экономичности и надежности промышленно-отопительных ТЭЦ ~ 11.2020г.,
5. Сафронов В.А., Тенчурич Ю.И., Байпас – 1997г.

## Секция 4. Энергетическое машиностроение

УДК 62-251

### АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА И УГЛОВОЙ ИНЕРЦИОННОСТИ ДИСКА НА КРИТИЧЕСКИЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ОДНОМАССОВОГО РОТОРА ТУРБИН

Данил Русланович Александров<sup>1</sup>, Вадим Аликович Гималов<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доцент Ольга Владимировна Клейдман

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

<sup>1</sup>aleksandrovdanil572@mail.ru, <sup>2</sup>gimalovv@inbox.ru

**Аннотация.** Определены частоты собственных колебаний и критические угловые скорости вращения ротора с учётом гироскопического эффекта и угловой инерционности диска при прямой и обратной синхронной прецессии. Сделан вывод о влиянии эффекта на частоты в зависимости от расположения диска ротора.

**Ключевые слова:** ротор турбин, колебания, критическая частота, угловая скорость, гироскопическое действие дисков, инерция поворота.

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE GYROSCOPIC EFFECT AND ANGULAR INERTIA OF THE DISK ON THE CRITICAL FREQUENCIES OF OSCILLATIONS OF THE TURBINE ROTOR

Danil R. Aleksandrov<sup>1</sup>, Vadim A. Gimalov<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>aleksandrovdanil572@mail.ru, <sup>2</sup>gimalovv@inbox.ru

**Abstract.** The frequencies of natural oscillations and critical angular velocities of rotation of the rotor are determined, taking into account the gyroscopic effect and angular inertia of the disk during forward and reverse synchronous precession. A conclusion is drawn.

**Keywords:** turbine rotor, oscillations, critical frequency, angular velocity, gyroscopic action of disks, turning inertia.

Вращающийся ротор может инициировать колебания, а также сам подвергаться колебаниям. Основными причинами нежелательных колебаний валопроводов могут быть: неравномерное распределение массы вала или на валу; неправильное балансирование вала; неправильное выравнивание валопровода или некачественная установка его компонентов,



включая оси и подшипники; ненормальный режим работы; износ или повреждение подшипников, что приводит к неравномерности вращения вала; внешние динамические нагрузки. Важнейшая характеристика ротора – критические частоты его вращения, когда амплитуды колебаний максимальны. Есть и собственные частоты колебаний ротора. При критической угловой скорости вращения возникает резонанс, равенство частот собственных колебаний и возмущающей силы [1]. Рабочей частоте ротора нельзя приближаться к критической и при прямой и обратной круговой прецессии (или быстро проскакать через неё). Современные турбины сталкиваются с более высокими нагрузками, что создает новые вызовы для обеспечения их безопасной и стабильной работы [2]. Точность и надежность аналитических расчетов должна подтверждаться сравнением с дополнительным решением численными точными методами, в этой области эффективен метод конечных элементов (МКЭ) [3, 4].

В работе рассматривается однодисковый ротор с невесомым валом на абсолютно жестких опорах с расстояниями до них от диска  $a = 1,6$  м;  $b = 2,4$  м; изгибная жесткость вала  $EI = 0,3 \cdot 10^9$  Н·м<sup>2</sup>; масса ротора  $M = 5000$  кг. Определим критические угловые частоты с учетом гироскопического эффекта, углового смещения диска и пренебрегая ими. Полярный момент инерции диска  $\theta_{II} = 317$  кг·м<sup>2</sup>; экваториальный  $\theta_{\vartheta} = 165$  кг·м<sup>2</sup>.

Критическая угловая частота одномассового ротора без демпфирования на абсолютно жестких опорах равна собственной и определяется с учётом  $\delta_{11}$  податливости ротора в т. расположения диска:

$$p_* = \sqrt{1/(\delta_{11}m)}, \quad p_* = \sqrt{1/(5 \cdot 10^3 \cdot 4,096 \cdot 10^{-9})} = 220,97 \text{ рад/с},$$

Если учитывать угловую инерционность, то собственная частота:

$$\omega_* = p_* \sqrt{2[1 + \beta \pm ((1 - \beta)^2 + \gamma)^{1/2}]^{-1/2}}, \quad \beta = \theta \delta_{22} / (m \delta_{11}); \quad \gamma = 4\theta \delta_{12}^2 / m \delta_{11}^2;$$

$\delta_{11}$  - податливость вала от единичной силы;  $\delta_{12}$ ,  $\delta_{22}$  - от единичного момента, приложенного в той же т. [5], находятся по формулам изгиба балок как единичные перемещения;  $\theta$  - приведенный момент инерции; для случая прямой  $\theta = \theta_{\vartheta} - \theta_{II} = -152$  кг·м<sup>2</sup>, для обратной синхронной прецессии  $\theta = \theta_{\vartheta} + \theta_{II} = 482$  кг·м<sup>2</sup>. Значения  $\beta$  и  $\gamma$  зависят от направления прецессии.

Критическая частота при прямой синхронной прецессии  $\omega_{*1} = 221,12$ .

Для обратной синхронной прецессии  $\beta$  и  $\gamma$  положительны, поэтому аналогично получим две критические частоты:  $\omega_{*1} = 220,498$  рад/с;  $\omega_{*2} = 1397,62$  рад/с.

Таким образом, при прямой синхронной прецессии из-за влияния гироскопического эффекта частота рассмотренного ротора увеличивается

$$\left( (\omega_{*1} - p_*) / p_* \right) 100\% = \left[ (221,12 - 220,97) / 220,97 \right] \cdot 100 = 0,07\% .$$

Для обратной синхронной прецессии первая частота снижается:

$$\left[ (\omega_{*1} - p_*) / p_* \right] 100\% = \left[ (220,498 - 220,97) / 220,97 \right] 100 = 0,21\% .$$

Влияние гироскопического эффекта на первую критическую угловую частоту рассмотренного ротора, когда диск находится между опорами, оказалось невелико по сравнению с приведённым расчётом [5] для ротора с консольно расположенным диском. Вывод, для роторов мощных турбин при определении критических частот можно пренебречь гироскопическим моментом за исключением газотурбинных установок с консольно расположенными дисками.

### Источники

1. 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.
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. Орлов А.С., Клейдман М.Д. 3D моделирование напряженно-деформируемого состояния элементов подогревателя высокого давления // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация": Сб. ст. по материалам конф. В 3-х томах, Казань, 2022. Том 2. С. 315-317

5. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин: учебник / Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. - 472 с.

УДК 62-1

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДОВ ТОПЛИВА НА ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГТУ

Леонард Владимирович Бабичевский

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Гузель Рашидовна Мингалеева

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

necrolit27@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние вида топлива на основные параметры газовой турбины. Произведен расчет выходных параметров.

**Ключевые слова:** ГТУ, основные параметры, эффективность.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF FUELS ON THE MAIN PARAMETERS OF GTU

Leonard V. Babichevsky

KSEU, Kazan, Republic of Tatarstan

necrolit27@gmail.com

**Abstract.** The article considers the influence of the type of fuel on the main parameters of a gas turbine. The output parameters were calculated.

**Keywords:** GTU, main parameters, efficiency.

Мощностные характеристики газоперекачивающих агрегатов в основном увеличиваются посредством повышения параметров их циклов и динамических нагрузок, что ведет к закономерному вопросу влияния выбранного топлива на конечные выходные параметры установки.

Одним из методов повышения экономичности цикла ГТУ является применения более дешевого вида топлива или его подмешивание. [1,2]

На основании чего встают вопросы об их получении, дороговизне, транспортировке до, собственно, агрегата, где они будут использованы в качестве топлива и том, как же они проявляют себя в качестве энергоносителя. Отдельно, к примеру, вопрос о транспортировке и хранении встает для некоторых удаленных потребителей или подвижных станций (например, кораблей).[3,4]

Далее приведены результаты расчетов конечных параметров ГТУ на различных видах топлива произведенные в комплексе ГРЭТ [5,6]:

Таблица 8. Результаты задачи «климатическая характеристика» для природного газа

Г	К	212,00	222,00	232,00	242,00	252,00							
Ne <sub>н</sub>	кВт	-54000,00	-162000,00	-209680,00	-204300,00	-199269,00	T	262,00	272,00	282,00	292,00	302,00	312,00
Ne	кВт	-54000,00	-162000,00	-209680,00	-204300,00	-199269,00	Ne <sub>н</sub>	-194223,00	-188642,00	-182197,00	-174890,00	-166705,00	-158297,00
T* <sub>г</sub>	К	1703,12	1547,74	1607,44	1623,61	1640,94	Ne	-194223,00	-188642,00	-182197,00	-174890,00	-166705,00	-158297,00
G	кг/с	98,58	295,73	415,79	404,81	394,24	T* <sub>г</sub>	1658,81	1676,04	1692,19	1707,58	1721,21	1733,71
n1	об/м	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	G	383,67	372,76	361,17	348,71	335,62	322,56
n2	об/м	6549,28	6391,33	6276,70	6313,87	6353,42	n1	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00
n3	об/м	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	n2	6394,17	6434,06	6472,54	6510,38	6545,35	6578,56
Gr	кг/ч	49678,10	47121,80	45702,70	44802,00	43973,70	n3	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00
							Gr	43161,40	42263,20	41218,40	40045,40	38712,30	37329,50

Таблица 2. Результаты задачи «климатическая характеристика» для биогаза

	К	212,00	222,00	232,00	242,00	252,00							
T							T	262,00	272,00	282,00	292,00	302,00	312,00
Ne <sub>н</sub>	кВт	-16200,00	-21589,00	-20968,00	-20425,00	-19932,00	Ne <sub>н</sub>	-19422,00	-18864,00	-18228,00	-17491,00	-16673,00	-15824,00
Ne	кВт	-16200,00	-21589,00	-20968,00	-20425,00	-19932,00	Ne	-19422,00	-18864,00	-18228,00	-17491,00	-16673,00	-15824,00
T* <sub>г</sub>	К	1676,78	1593,60	1607,45	1623,46	1641,12	T* <sub>г</sub>	1658,82	1676,03	1692,45	1707,61	1721,25	1733,69
G	кг/с	86,00	102,40	99,33	96,35	93,46	G	90,65	87,93	85,30	82,74	80,26	77,85
n1	об/м	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	n1	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00
n2	об/м	6463,19	6243,96	6276,72	6313,68	6353,77	n2	6394,15	6434,07	6473,12	6510,48	6545,43	6578,45
n3	об/м	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	n3	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00
Gr	кг/ч	49763,40	46769,90	45702,90	44789,60	43987,50	Gr	43162,30	42262,40	41239,20	40047,90	38715,40	37326,10

Таблица 3. Результаты задачи «климатическая характеристика» для керосина

Г	К	212,00	222,00	232,00	242,00	252,00							
T							T	262,00	272,00	282,00	292,00	302,00	312,00
Ne <sub>н</sub>	кВт	-22330,00	-21589,00	-20968,00	-20427,00	-19932,00	Ne <sub>н</sub>	-19423,00	-18864,00	-18227,00	-17489,00	-16671,00	-15830,00
Ne	кВт	-22330,00	-21589,00	-20968,00	-20427,00	-19932,00	Ne	-19423,00	-18864,00	-18227,00	-17489,00	-16671,00	-15830,00
T* <sub>г</sub>	К	1583,05	1593,58	1607,48	1623,53	1641,10	T* <sub>г</sub>	1658,82	1676,07	1692,44	1707,58	1721,22	1733,73
G	кг/с	440,00	427,48	415,79	404,80	394,25	G	383,68	372,76	361,19	348,71	335,63	322,57
n1	об/м	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	n1	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00
n2	об/м	6217,10	6243,93	6276,66	6313,69	6353,76	n2	6394,21	6434,14	6473,12	6510,39	6545,41	6578,59
n3	об/м	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	n3	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00
Gr	кг/ч	48071,00	46769,30	45703,80	44794,90	43986,40	Gr	43163,10	42265,40	41237,80	40045,90	38712,90	37330,70

Таблица 4. Результаты задачи «климатическая характеристика» для попутного газа

T	K	212,00	222,00	232,00	242,00	252,00	T	262,00	272,00	282,00	292,00	302,00	312,00
Ne <sub>H</sub>	кВт	-22330,00	-21588,00	-20971,00	-20431,00	-19933,00	Ne <sub>H</sub>	-19421,00	-18860,00	-18227,00	-17489,00	-16670,00	-15830,00
Ne	кВт	-22330,00	-21588,00	-20971,00	-20431,00	-19933,00	Ne	-19421,00	-18860,00	-18227,00	-17489,00	-16670,00	-15830,00
T* <sub>г</sub>	K	1583,05	1593,57	1607,47	1623,60	1641,08	T* <sub>г</sub>	1658,71	1675,84	1692,43	1707,59	1721,21	1733,74
G	кг/с	440,00	427,48	415,77	404,81	394,26	G	383,69	372,78	361,19	348,71	335,63	322,57
n1	об/м	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	n1	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00
n2	об/м	6217,10	6243,93	6276,69	6313,85	6353,71	n2	6394,02	6433,71	6473,07	6510,40	6545,37	6578,62
n3	об/м	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	n3	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00
Gr	кг/ч	48071,00	46768,10	45703,40	44801,20	43984,80	Gr	43154,50	42248,20	41237,60	40046,10	38712,70	37331,40

Таблица 12. Результаты задачи «климатическая характеристика» для коксового газа

T	K	212,00	222,00	232,00	242,00	252,00	T	262,00	272,00	282,00	292,00	302,00	312,00
Ne <sub>H</sub>	кВт	-22330,00	-21588,00	-20971,00	-20431,00	-19933,00	Ne <sub>H</sub>	-19421,00	-18860,00	-18227,00	-17489,00	-16670,00	-15830,00
Ne	кВт	-22330,00	-21588,00	-20971,00	-20431,00	-19933,00	Ne	-19421,00	-18860,00	-18227,00	-17489,00	-16670,00	-15830,00
T* <sub>г</sub>	K	1583,05	1593,57	1607,47	1623,60	1641,08	T* <sub>г</sub>	1658,71	1675,84	1692,43	1707,59	1721,21	1733,74
G	кг/с	440,00	427,48	415,77	404,81	394,26	G	383,69	372,78	361,19	348,71	335,63	322,57
n1	об/м	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	n1	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00
n2	об/м	6217,10	6243,93	6276,69	6313,85	6353,71	n2	6394,02	6433,71	6473,07	6510,40	6545,37	6578,62
n3	об/м	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	n3	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00
Gr	кг/ч	48071,00	46768,10	45703,40	44801,20	43984,80	Gr	43154,50	42248,20	41237,60	40046,10	38712,70	37331,40

Таблица 6f. Результаты задачи «климатическая характеристика» для генераторного газа

T	K	212,00	222,00	232,00	242,00	252,00	T	262,00	272,00	282,00	292,00	302,00	312,00
Ne <sub>H</sub>	кВт	-22330,00	-21588,00	-20971,00	-20431,00	-19933,00	Ne <sub>H</sub>	-19421,00	-18860,00	-18227,00	-17489,00	-16670,00	-15830,00
Ne	кВт	-22330,00	-21588,00	-20971,00	-20431,00	-19933,00	Ne	-19421,00	-18860,00	-18227,00	-17489,00	-16670,00	-15830,00
T* <sub>г</sub>	K	1583,05	1593,57	1607,47	1623,60	1641,08	T* <sub>г</sub>	1658,71	1675,84	1692,43	1707,59	1721,21	1733,74
G	кг/с	440,00	427,48	415,77	404,81	394,26	G	383,69	372,78	361,19	348,71	335,63	322,57
n1	об/м	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	n1	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00	5250,00
n2	об/м	6217,10	6243,93	6276,69	6313,85	6353,71	n2	6394,02	6433,71	6473,07	6510,40	6545,37	6578,62
n3	об/м	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	n3	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00	5300,00
Gr	кг/ч	48071,00	46768,10	45703,40	44801,20	43984,80	Gr	43154,50	42248,20	41237,60	40046,10	38712,70	37331,40

Рис. 1. Результаты задачи «климатическая характеристика» для различных топлив

В результате расчёта были составлены графики в зависимости от температуры наружного воздуха от 212 К (-60 °С) до 312 К (+40 °С). Выводимые параметры: потребная мощность для привода агрегатов, часовой расход топлива, эффективный КПД. По полученным данным видно, что при низкой температуре наружного воздуха эффективный КПД установки ощутимо повышается, в области высоких температур наблюдается противоположный результат. Суммарный часовой расход топлива для обеих установок изменяется по такому же принципу.

## Источники

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Зунино П., Менделеев Д.И. Влияние состава топлива на энергетические параметры газотурбинной установки // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 5. С. 41-51.
2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М. Критерии выбора составов топлив при их сжигании в газотурбинных установках с незначительными переделками топливной системы // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 2 (151). С. 356-365.
3. Paul Breeze. Gas-Turbine Power Generation: Gas Turbines // Elsevier Ltd., 2016.
4. Watson N., Janota M. S. Turbocharging the Internal Combustion Engine // Palgrave, 1982.
5. Автоматизированная система газодинамических расчетов энергетических турбомашин: Учеб. пособие / Б.М. Осипов, А.В. Титов – Казань: Казан. гос. энерг. Ун-т, 2012 – 277 с.
6. Титов А.В., Осипов Б.М., Инструментальная среда исследования газотурбинных установок на математических моделях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 4. С. 17-21.

УДК 621.822.1

## РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПОДШИПНИКОВ РАЗНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ИСПОЛНЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО ВЫБОРА В ТУРБОМАШИНАХ С ДЛИТЕЛЬНЫМ РЕСУРСОМ

Зарина Маратовна Бикбова

Науч. рук. канд. физ-мат. наук, доцент Ольга Владимировна Клейдман

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

bikbova\_zarina@bk.ru

**Аннотация.** Определены минимальная толщина масляного слоя, мощность трения и нагрев масла в эллиптическом и цилиндрическом подшипниках турбомашин.

**Ключевые слова:** турбины, эллиптические, цилиндрические подшипники скольжения, динамические и статические характеристики, толщина масляного слоя.

# CALCULATION OF PARAMETERS OF BEARINGS OF DIFFERENT CONSTRUCTIONS TO ANALYZE THE PREFERABLE CHOICE IN TURBOMACHINES WITH A LONG LIFETIME

Zarina M. Bikbova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

bikbova\_zarina@bk.ru

**Abstract.** To assess the reliability of steam turbine diaphragms, the deflection of the diaphragm and the maximum stresses caused by the difference in steam pressure, high temperature, and vibrations were calculated.

**Keywords:** turbines, elliptical, cylindrical plain bearings, dynamic and static characteristics, oil layer thickness.

Использование математических моделей и численных методов, чаще это метод конечных элементов (МКЭ) [1,2], позволяет предсказывать и оптимизировать динамические характеристики роторных систем с учётом влияния масляной плёнки в подшипнике, которая имеет упругость и вязкость. Это помогает повысить эффективность, надёжность и долговечность турбомашин [3]. Минимальная толщина масляного слоя является критическим параметром для подшипников турбомашин, так как от нее зависит смазочная и нагрузочная способность подшипника. Правильно рассчитанный масляный слой обеспечивает достаточное смягчение ударных нагрузок, улучшает герметичность и снижает трение в подшипнике. Он также способствует охлаждению подшипника и снижению его износа и повреждений. Расчет минимальной толщины масляного слоя подшипников турбомашин включает в себя учет рабочей нагрузки, скорости вращения, размера и формы подшипников, вязкости масла и температуры среды. На основе расчетов можно определить оптимальные параметры подшипников, а также разработать улучшенные конструкции и материалы.

Сравнение цилиндрических и эллиптических подшипников турбомашин является актуальным вопросом. Цилиндрические подшипники могут выдерживать более высокие нагрузки и более длительную эксплуатацию, что является особенно важным для турбомашин. Эллиптические подшипники предлагают более высокую точность и плавность работы по сравнению с цилиндрическими подшипниками. Это также может быть критическим фактором для турбомашин. Относительная эффективность в снижении износа и трения

может быть решающим фактором при выборе подшипников для турбомашин, поэтому целью работы – сравнение минимальной толщины масляного слоя, зазора между цапфой и вкладышем подшипника.

На цапфу цилиндрического подшипника с углом охвата  $\alpha = 150^\circ$ , радиусом  $R = 150$  мм, длиной вкладыша 300 мм и зазором  $\Delta_r = 0,5$  мм действует вертикальная нагрузка  $P = 58,86$  кН. Угловая скорость  $\omega = 314,16$  рад/с; вязкость масла  $\mu = 0,0196$  Па·с (при  $T = 50^\circ\text{C}$ ). Вычислим минимальную толщину масляной пленки  $h_{min}$ . Оценим  $h_{min}$  при том же боковом зазоре, если подшипник заменить на эллиптический с гладкой поверхностью верхнего вкладыша (коэффициент формы  $m = 0,75$ ).

Относительный зазор и коэффициент нагруженности подшипника:

$$\psi = \frac{\Delta_r}{R} = \frac{0,5}{150} = 3,333 \cdot 10^{-3}, \quad \zeta = \frac{P\psi^2}{LD\mu\omega} = \frac{58,86 \cdot 10^3 \cdot (3,333 \cdot 10^{-3})^2}{0,3 \cdot 0,3 \cdot 0,0196 \cdot 314,16} = 1,18$$

Используя характеристики цилиндрического подшипника [4], при  $L/D = 1,0$  для полученного значения  $\zeta$  линейной интерполяцией найдем эксцентриситет  $x = 0,60455$ , по которому вычислим  $h_{min}$  для цилиндрического подшипника:

$$h_{min} = \Delta_r (1 - x) = 0,5(1 - 0,60455) = 0,198 \text{ мм.}$$

Для эллиптического подшипника при том же значении  $\zeta$  аналогично из таблиц характеристик [4], имеем  $x = 0,119$ ;  $\varphi = 1,38$ .

Используя формулу, выведенную в [4], минимальный зазор для эллиптического подшипника:

$$h_{min} = \Delta_r (1 - \sqrt{x^2 + m^2 + 2xm \cos \varphi} = 0,5 \left( 1 - \sqrt{0,119^2 + (0,75)^2 + 2 \cdot 0,119 \cdot 0,75 \cos(1,38)} \right) = 0,109 \text{ мм.}$$

При этом вычисленный нагрев масла является допустимым.

Для цилиндрического подшипника «всплытие» больше, чем для эллиптического, что объясняется наличием во втором случае верхнего масляного клина. Этот результат особенно важен, если учитывать вибрации колебания [5] в роторе, из-за чего возможны задевание шейки о поверхность вкладыша, усталостное повреждение или ослабление затяжки болтов, стягивающих обоймы подшипников.



## Источники

1. Орлов А.С., Клейдман М.Д. 3D моделирование напряженно-деформируемого состояния элементов подогревателя высокого давления // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация": Сб. ст. по материалам конф. В 3-х томах, Казань, 2022. Том 2. С. 315-317. – EDN MPXJWP.

2. 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. семинар, посвящен. дню энергетика: матер. докладов, Казань, 2022. Том 2. С. 184-187. – EDN RTKUOY

3. 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.

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. Подогреватель высокого давления и ресивер водорода // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2022 (МНТК "ИМТОМ - 2022"): матер. XI Междунар. науч.-техн. конф., Казань, 2022. Том 2. С. 189-191. – EDN ПWNMZ.

УДК 621.311.243

## ТИПЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Кирилл Сергеевич Борин<sup>1</sup>, Евгений Васильевич Клейн<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Гузель Рашидовна Мингалеева

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

<sup>1</sup>borin22@inbox.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены типы солнечных электростанций, области их применения, а также преимущества и недостатки в энергетической сфере.

**Ключевые слова:** солнечная электростанция, МиниСЭС, МикроСЭС, НаноСЭС.

## TYPES OF SOLAR POWER PLANTS AND THEIR SCOPE OF APPLICATION

Kirill S. Borin<sup>1</sup>, Evgeny V. Klein<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>borin22@inbox.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the types of solar power plants, their applications, as well as advantages and disadvantages in the energy sector.

**Keywords:** solar power plants, MiniSEC, MicroSEC, NanoSEC.

Солнечная электростанция - это устройство, которое использует солнце для создания электричества. Оно делает это путем преобразования солнечного света в электричество [1]. Солнечная энергия является одним из самых эффективных и экологически чистых источников энергии, и поэтому СЭС становятся все популярнее по всему миру [2].

Рассмотрим различные типы солнечных электростанций и область их применения. Фотоэлектрические солнечные станции являются одними из самых популярных видов солнечных электростанций. Данная станция использует солнечные панели, которые преобразовывают радиацию Солнца в электрическую энергию [3]. Плавающие солнечные электростанции – такой вид станций, который находится на поверхности воды. Солнечные башни – в этом виде, электростанция использует поля зеркал, чтобы сосредоточить солнечную энергию на башне, в которой располагаются средства для выработки электрической энергии. Термосолнечные электростанции – этот вид поглощает солнечную энергию в целях нагрева рабочей жидкости, которая впоследствии превращается в пар для вращения турбины, которая вырабатывает электроэнергию [4].

МиниСЭС перерабатывает энергию Солнца в электрическую для выдачи ее в ЕЭС, а также для потребления на собственные нужды. Как правило, такие станции используются для обеспечения электричеством крупных объектов, таких как супермаркеты, торговые центры и промышленные предприятия. Их мощность может варьироваться от 15 кВт до 1 МВт. Кроме этого, различия состоят в количестве применяемых фотоэлектрических модулей, число которых варьируется от 60 до 4000. Площадь СЭС с мощностью 15 кВт составляет примерно 102 м<sup>2</sup>.

МикроСЭС: мощность таких станций может быть от 100 Вт до 15 кВт. Наличие аккумулятора обеспечивает более стабильное

электроснабжение в случае проблем с питанием от централизованной сети. Кроме этого наличие резерва электроэнергии позволяет использовать ее ночью или при плохой погоде, а не питаться из сети. Такой вариант позволяет экономить на счетах, что является неоспоримым преимуществом. Станция предназначена для совместного использования электроэнергии от солнечных батарей и от централизованной сети без накопления электроэнергии от солнечных модулей. СЭС такого вида чаще всего используется для жилых помещений. Единственным недостатком является то, что такая станция не применима в случае отсутствия централизованного электроснабжения, а его осуществление вызывает большие денежные расходы.

НаноСЭС имеет мощность до 100 Вт. В силу малой мощности производимой электроэнергии её предназначение отличается от других видов солнечных станций. Малая мощность позволяет применять её только к устройствам, потребляющим небольшое количество электричества. В пример можно привести светофор, знаки дорожного движения с подсветкой. Она может генерировать в ясную погоду до 800 Вт·ч/сутки. Накопленной энергии за день хватит для работы в темное время суток.

ПикоСЭС – мощность станции может быть равна 10 Вт. Она состоит из солнечных модулей, которые имеют небольшие размеры. Например, солнечный модуль мощностью 10 Вт имеет размер 350x255x17мм. А модуль мощностью 1,2 Вт имеет размеры 70x55x3мм. Даже такая малая станция имеет свое предназначение. Они питают маленькие электрические схемы с маломощными приборами. К ним можно отнести датчики температуры, давления и другие устройства. ПикоСЭС в совместной работе с аккумулятором может заряжать гаджеты [5].

### **Источники**

1. Набиуллина, М. Ф. Гибридные мини-ТЭС на биомассе и солнечной энергии как автономные источники тепла и электричества / М. Ф. Набиуллина // 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. 196-200. – EDN NNBJNQ.

2. Дарьина, П. И. Возобновляемые источники энергии и перспектива совместного использования с традиционной энергетикой / П. И. Дарьина, М. Ф. Набиуллина // 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. 7-11. – EDN JJTLID.

3. Мингалеева, Г. Р. Перспективы разработки основного оборудования для гибридных электростанций / Г. Р. Мингалеева, М. Ф. Набиуллина // 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. 211-215. – EDN CRBYWR.

4. Набиуллина, М. Ф. Использование различных теплоносителей в солнечных коллекторах гибридных электростанций / М. Ф. Набиуллина // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Кемерово, 07–09 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 154-1-154-5. – EDN BEWZMA.

5. Афанасьева, О. Перспективы развития гибридных источников автономного энергоснабжения / О. Афанасьева, Г. Мингалеева, М. Набиуллина // Энергетическая политика. – 2022. – № 9(175). – С. 88-99.

УДК 697.8

## КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ НА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДАХ

Тимофей Валерьевич Воробьев<sup>1</sup>, Евгений Васильевич Клейн<sup>2</sup>  
Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Гузель Рашидовна Мингалеева  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>vorobev.timofey.05@mail.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

**Аннотация.** В статье обсуждается важность котельных установок работающих на древесных отходах и их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** котельные установки, бункер, шнековый транспортер.

## EXPERIENCE OF USING WAVE POWER PLANTS

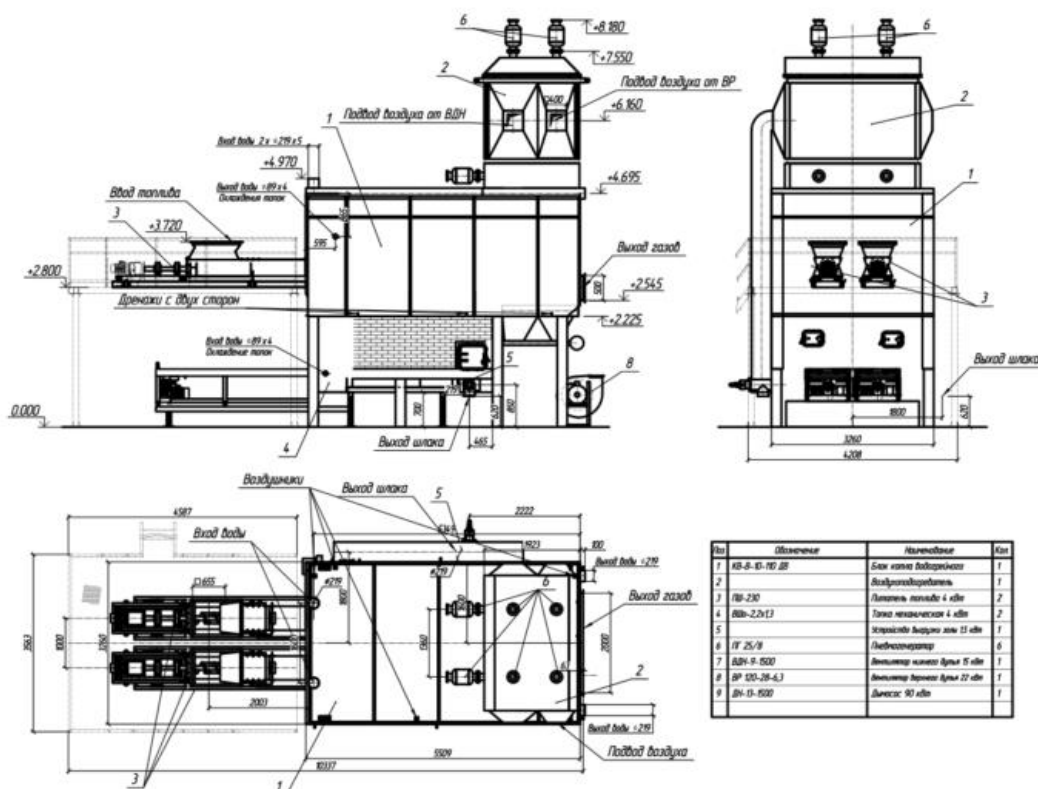
Timofey V. Vorobyev<sup>1</sup>, Evgeny V. Klein<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>vorobev.timofey.05@mail.ru, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the importance of boiler plants operating on wood waste and their advantages and disadvantages.

**Keywords:** boiler installations, hopper, screw conveyor.

В настоящее время всё сильнее набирает развитие концепция распределенной энергетики, когда электрическая и тепловая энергия генерируется не огромными станциями, а малыми объектами с малой мощностью для локальных потребителей. В таких условиях себя могут хорошо зарекомендовать котельные установки на древесном топливе.

Современные отопительные котельные установки на древесном топливе обеспечивают автоматическое поддержание комфортных условий в жилых помещениях при соблюдении экологических требований [1]. Для отопления жилых помещений предлагают 3 типа котельных установок. Первые – это установки, которые работают на дровах (поленья длиной около 50 см, с влажностью от 15 до 20%). Вторые – установки это те, которые работают на древесных отходах и щепках с влажностью не более 30%. Третий тип - это установки, работающие на древесных брикетах или гранулах. Установки, работающие на древесных отходах и щепках, имеют мощность 150 кВт и имеют шнековый транспортер, который подает топливо из бункера (см рис.) [2]. Бункер объемом 30-50 кубических метров может хранить большое количество топлива. Установки, работающие на брикетах, считаются перспективными, так как они более компактны [3].



Котельная установка, работающая на древесных отходах [2]

Котельные установки, работающие на древесных отходах, имеют ряд преимуществ:

1. Они безопасны, так как имеют датчик, который фиксирует отсутствие пламени и останавливает работу котла при возникновении непредвиденной ситуации.

2. Они надежны в эксплуатации и могут работать без сбоев в автономном режиме в течение всего отопительного сезона [4].

3. Они экономичны, так как расход отходов контролируется оборудованием, которое оптимизирует процесс горения в соответствии с потребностями помещения в тепле.

Из недостатков таких котельных установок можно выделить:

1. Высокая стоимость механизированной котельной.

2. Ограничение по влажности используемых древесных отходов, она не должна превышать 20%. На территории России достать сухие отходы достаточно проблематично [5].

В заключении хотелось бы сказать, что котельные установки на древесных отходах имеют как преимущества, так и свои недостатки, но, по нашему мнению, их положительные качества перевешивают имеющиеся минусы. Эта тема действительно очень интересна и многогранна, поэтому мы уверены, что ее можно изучать и развивать еще очень долго. Но для того, чтобы сделать это, нам нужно больше информации и данных, которые мы можем получить, проводя дополнительные исследования.

### **Источники**

1. Венцюлис, Л. С. Использование древесины и твёрдых коммунальных отходов в качестве топлива в энергетике: экологический и экономический выигрыш / Л. С. Венцюлис, Ю. И. Скорик // Региональная экология. – 2012. – № 1-2(33). – С. 44-47. – EDN TWHUUB.

2. 06.23-19И.521 Водогрейные котлы для сжигания древесных отходов // РЖ 19И. Общие вопросы химической технологии. – 2006. – № 23. – EDN IGPTVZ.

3. Радченко, С. А. Теплотехника и энергетические машины: Учебное пособие / С. А. Радченко, А. Н. Сергеев. – Тула: Тульский государственный университет, 2015. – 630 с. – EDN UXCRYN.

4. Ндлову, Э. Т. Режимные параметры котла для сжигания багассы / Э. Т. Ндлову, М. В. Савина // Тинчуринские чтения: Материалы XIV Международной молодежной научной конференции. В 3-х томах, Казань, 23 апреля – 26 2019 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. Том

2. Часть 1. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 245-249. – EDN FKWLWO.

5. 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. – EDN ZXXXNV.

УДК 621.165

## ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ И ЗАПАСА ПО ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ДИАФРАГМЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Алина Радиевна Галиулина

Науч. рук. канд. физ-мат. наук, доцент Ольга Владимировна Клейдман  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
galiulinaa8@gmail.com

**Аннотация.** Для оценки надёжности диафрагм паровых турбин произведён расчёт прогиба диафрагмы и максимальных напряжений, обусловленных разностью давлений пара, высокой температурой, вибрациями.

**Ключевые слова:** диафрагма паровых турбин, лопатки, прогибы, напряжения изгиба, длительная прочность, ползучесть.

## ASSESSMENT OF RELIABILITY AND LONG-TERM STRENGTH OF STEAM TURBINE DIAPHRAGM

Alina R. Galiulina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
galiulinaa8@gmail.com

**Abstract.** To assess the reliability of steam turbine diaphragms, the deflection of the diaphragm and the maximum stresses caused by the difference in steam pressure, high temperature, and vibrations were calculated.

**Keywords:** steam turbine diaphragm, blades, deflections, bending stresses, long-term strength, creep deformation.

Прогиб диафрагмы паровых турбин приводит к несоответствию между лопатками и диафрагмой, а также возникновению щелевых промежутков между диафрагмой и ротором, через которые может

происходить утечка пара. Это снижает эффективность работы турбины и создаёт риски для безопасности. Максимальные напряжения изгиба диафрагмы рассчитываются, чтобы убедиться в прочности, т. е., что диафрагма способна выдержать без деформаций или поломок большое давление пара, значительные центробежные силы в условиях высокой температуры и возможных колебаний [1]. Поскольку диафрагмы в паровых турбинах играют важную роль в регулировании потока пара и отделяют различные ступени турбины, их ползучесть [2] может привести к повреждению других компонентов системы. Для предотвращения явления ползучести обычно используются материалы с высокой прочностью и устойчивостью к высоким температурам. Определение коэффициента запаса по длительной прочности диафрагмы позволяет обеспечить безопасную и надежную работу паровой турбины на протяжении всего ее срока службы. Окончательный прогиб диафрагмы, рассчитанный с учетом всех факторов, должен быть проверен с помощью различных методов, таких как численное моделирование, чаще используется метод конечных элементов [3], испытания. Это позволяет убедиться в правильности расчетов и обеспечить необходимое функционирование паровых турбин [4]. Поэтому рассмотренные в работе расчёты имеют важное практическое значение для энергетической отрасли.

Традиционно в расчетах диафрагм учитываются только основные параметры, такие как давление, температура, расход пара и скорость потока. Однако, новый подход может учитывать и другие факторы, включая материалы конструкции диафрагм, тепловые и механические нагрузки. В работе рассматривается следующий комплекс условий: перед диафрагмой турбины давление пара  $p_1 = 5,6$  МПа, а за ней  $p_2 = 4,88$  МПа. Рабочая температура  $510$  °С. Внешний диаметр диафрагмы  $D = 1,2$  м; диаметр корневого сечения лопаток  $d_e = 0,95$  м; диаметр диафрагменного уплотнения  $d = 0,55$  м. Толщина диафрагмы постоянна ( $t_d = 0,09$  м). Число сопловых лопаток в диафрагме  $z_n = 34$ . Момент сопротивления сечения лопатки относительно оси изгиба  $W_d = 38$  см<sup>3</sup>. Материал диафрагмы – сталь 15X1МФ (предел длительной прочности  $\sigma_{дп}^{10^5} = 200$  МПа; модуль упругости  $E = 1,8 \cdot 10^5$  МПа). Материал лопаток – сталь 1X11МФШ ( $\sigma_{дп}^{10^5} = 250$  МПа). Цель расчёта – максимальные прогибы и напряжения в диафрагме и лопатках, коэффициент запаса по длительной прочности.

Перепад давлений по диафрагме  $\Delta p = 0,72$  МПа. Коэффициенты  $K_\sigma = 450$ ,  $K_\Delta = 750$ , зависящие от относительных диаметра уплотнения



(0,458) и толщины диафрагмы (0,075), определяются из зависимостей [5]. Напряжения изгиба в плоскости симметрии полукольца диафрагмы,

$$\sigma_{\max} = \frac{K_{\sigma}}{10} \frac{\Delta p(0,1D)^2}{t_d^2} = \frac{450}{10} \cdot \frac{0,72(0,1 \cdot 1,2)^2}{0,09^2} = 57,6 \text{ МПа.} \quad (1)$$

Прогиб диафрагмы в зоне уплотнения вала в сечении разъема

$$W_{\max} = K_{\Delta} \frac{\Delta p(0,1D)^4}{Et^3} = 750 \frac{0,72(0,1 \cdot 1,2)^4}{180 \cdot 10^3 \cdot 0,09^3} = 8,53 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,853 \text{ мм.} \quad (2)$$

Изгибающий момент в самой напряженной крайней лопатке [5],

$$M_{\text{л}} = \frac{4\Delta p \left(\frac{D}{2}\right)^3}{192} = \frac{4 \cdot 0,72 \cdot \left(\frac{1,2}{2}\right)^3}{192} = 3,22 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м.} \quad (3)$$

Разделив его на  $W_{\text{л}}$ , напряжение изгиба в лопатке  $\sigma_{\text{н.л.}} = 84,7 \text{ МПа}$ .

Коэффициент запаса по длительной прочности диафрагмы и лопатки:

$$n_{\text{д.п.}}^{(\text{д})} = \frac{200}{57,6} = 3,47, \quad n_{\text{д.п.}}^{(\text{л})} = \frac{250}{84,7} = 2,95. \quad (4, 5)$$

Но из-за высокой температуры напряжения по сечению вследствие ползучести выравниваются и снижаются, а реальный  $n_{\text{д.п.}}^{(\text{д})}$  увеличится.

## Источники

1. 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. EDN IIWNMZ.

2. Клейдман О.В., Клейдман М.Д. Анализ влияния ползучести на напряжённо-деформированное состояние необогреваемогогиба стационарного трубопровода с помощью ANSYS // Энергетика и автоматизация в современном обществе: матер. VI Всерос. науч.-практ. конф. обуч. и преподават., Санкт-Петербург, 2023. – С. 89-94. – EDN GMJMDK.

3. Ютанова А.А., Клейдман М.Д. Анализ НДС на основе МКЭ цельнокованого ротора турбины при действии эксплуат. нагрузок с учётом дефектов в осевом канале // XXVI Всерос. аспирант.-магистр. науч.

семинар, посвящен. дню энергетика: матер. докладов, Казань, 2022. Том 2. С. 184-187.

4. 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.

5. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин: учебник / Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. - 472 с.

УДК 621.182-5

## ОБЗОР ТИРИСТОРНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В КОТЛАХ-УТИЛИЗАТОРАХ

Карина Разифовна Гарфетдинова<sup>1</sup>, Дмитрий Александрович Базин<sup>2</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Александр Игоревич Ляпин

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

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

**Аннотация.** В статье автор подробнее рассматривает, что такое тиристоры, рассказывает принцип работы, вместе с этим выделены основные преимущества и проблемы при работе тиристорных регуляторов в котлах-утилизаторах.

**Ключевые слова:** котлы-утилизаторы, тиристоры, энергоэффективность, надежность, долговечность.

## OVERVIEW OF THYRISTOR REGULATORS IN HRSGS

Karina R. Garfetdinova<sup>1</sup>, Dmitry A. Bazin<sup>2</sup>

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

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

**Abstract.** In the article the author considers in detail what thyristors are, tells the principle of operation, together with this the main advantages and problems in the operation of thyristor regulators in HRSGs are highlighted.

**Keywords:** HRSGs, thyristors, energy efficiency, reliability, durability.

В современных промышленных процессах все большее внимание уделяется утилизации отходов и повышению энергоэффективности.

Котлы-утилизаторы являются одним из наиболее эффективных способов переработки отходов, при этом генерируя тепловую энергию. Однако, для оптимальной работы котлов-утилизаторов требуется точная и устойчивая регулировка процесса сжигания топлива. В этом случае тиристорные регуляторы становятся незаменимым инструментом [1].

Тиристоры — это полупроводниковые устройства, способные управлять электрическим током в зависимости от внешних условий, таких как напряжение, температура или сигнал управления. Использование тиристорных регуляторов в котлах-утилизаторах позволяет точно регулировать процесс сжигания топлива, обеспечивая оптимальные параметры работы.

Еще одним преимуществом использования тиристорных регуляторов является возможность снижения выбросов вредных веществ в атмосферу. Точное и устойчивое управление процессом сжигания позволяет минимизировать выбросы  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и других вредных веществ, что способствует соблюдению экологических норм и нормативов.

Кроме того, тиристорные регуляторы обладают высокой надежностью и долговечностью, что позволяет их использовать в условиях высоких нагрузок и длительной эксплуатации. Они могут легко интегрироваться в существующие системы управления котлом-утилизатором и предоставлять операторам широкие возможности для управления процессом. Для работы котлов-утилизаторов требуется использование специальных программных систем, которые обеспечивают управление и контроль работы тиристорных регуляторов [2].

Преимущества тиристорных регуляторов:

1. Точная регулировка: Тиристорные регуляторы обеспечивают бесступенчатую регулировку нагрузки и температуры, что позволяет оптимально настроить работу котла-утилизатора под текущие условия [3];

2. Энергоэффективность: Тиристорные регуляторы позволяют снизить потребление электроэнергии и повысить энергоэффективность работы котла-утилизатора, благодаря точной регулировке мощности нагрева;

3. Надежность и долговечность;

4. Удобство использования;

5. Защита оборудования;

Использование тиристорных регуляторов в котлах-утилизаторах также имеет свои ограничения и недостатки. Одним из таких недостатков является сложность настройки и программирования системы управления, что требует наличия квалифицированных специалистов. Кроме того,

необходимо также обеспечить надежную систему охлаждения тиристорных, чтобы предотвратить их перегрев и повреждение [4].

Тем не менее, использование тиристорных регуляторов в котлах-утилизаторах считается одним из многообещающих направлений в области энергоэффективности и экологической безопасности. Благодаря использованию тиристорных регуляторов, котлы-утилизаторы становятся надежными и эффективными решениями для современных производств, вырастает эффективность котлов, а также снижаются вредные выбросы.

Функции тиристорных регуляторов:

1. Регулировка нагрузки: Регуляторы позволяют точно управлять мощностью нагрева котла-утилизатора, контролируя пропускание тока через тиристоры;

2. Защита оборудования: Регуляторы оснащены системой защиты, которая предотвращает перегрузку и короткое замыкание. Также они контролируют работу тепловых датчиков и предотвращают повреждение котла-утилизатора [5].

3. Контроль температуры;

4. Управление: Регуляторы имеют удобный интерфейс управления, через который можно легко настроить параметры работы котла-утилизатора и мониторить процесс работы.

Делая вывод, отметим основные моменты по тиристорным регуляторам в котлах-утилизаторах. Тиристорные регуляторы в котлах-утилизаторах представляют собой электронные устройства, используемые для регулирования работы котлов-утилизаторов. Котлы-утилизаторы являются одним из основных видов оснащения промышленных установок и играют важную роль в процессе теплоснабжения и производства энергии [6].

В усовершенствованных системах котлов-утилизаторов применяются тиристорные регуляторы, чтобы обеспечить эффективный контроль работы котлов. Тиристорный регулятор – это устройство, которое позволяет управлять процессом генерации тепла, регулируя подачу электрической энергии на нагревательные элементы котла.

Особенностью тиристорных регуляторов в котлах-утилизаторах является их способность к автоматическому регулированию мощности в зависимости от изменений внешних условий. Благодаря этому, котлы-утилизаторы, оснащенные такими регуляторами, могут подстраиваться под различные режимы работы и обеспечивать стабильное теплоснабжение в реальном времени [1].

Тиристорные регуляторы в котлах-утилизаторах также обеспечивают высокую надежность работы системы. Они имеют встроенные механизмы защиты от перегрева и перегрузки, что предотвращает возникновение аварийных ситуаций и обеспечивает безопасность процесса работы.

Благодаря точному и автоматизированному регулированию мощности, данные регуляторы помогают сократить затраты на энергию и повысить доходность предприятия [4].

### **Источники**

1. Ключев, А. С. Автоматическое регулирование / А. С. Ключев. – М. : Энергия, 2021. 344 с., ил.
2. Адабашьян, А.И. Монтаж контрольно-измерительных приборов и аппаратуры автоматического регулирования / А.И. Адабашьян. - М.: Стройиздат,. – 2018. 358 с.
3. Ротач, В. Я. Теория автоматического регулирования теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов / В. Я. Ротач. М. : Энергоатомиздат, 2019. 296 с.
4. Харисон, Т. Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами. / Т. Харисон. – М: Мир, 2018. - 1062 с.
5. Каганов, В.Ю., Автоматизация металлургических печей / В.Ю. Каганов, О.М. Блинов, Г.М. Глинков. – М.: Металлургия, 2022. – 376с.
6. Воронов, А. А. Основы теории автоматического управления: Автоматическое регулирование непрерывных линейных систем / А. А. Воронов 2-е изд., перераб. М. : Энергия, 2020. 212 с., ил.

УДК 620.9

## **ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОТ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ: ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ**

Резеда Исхаковна Гильмутдинова

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Азат Ринатович Ахметшин

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

gilmutdinovarezeda@mail.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены загрязнение от тепловых электростанций, их разновидности и способы устранения. Также приводится сравнение разных выбросов и их влияние на окружающую среду.

**Ключевые слова:** выбросы, теплоэнергетика, синтез газ, сжигание угля.

## **POLLUTION FROM THERMAL POWER PLANTS: WAYS TO REDUCE EMISSIONS**

Rezeda I. Gilmutdinova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

gilmutdinovarezeda@mail.ru

**Annotation.** This article discusses pollution from thermal power plants, their varieties and methods of elimination. It also provides a comparison of different emissions and their impact on the environment.

**Keywords:** emissions, thermal power engineering, synthesis gas, coal burning.

Проблема выбросов, загрязняющих окружающую среду во все времена, оставалась актуальной проблемой человечества. Есть большое количество вредных веществ, загрязняющих атмосферу, которые могут возникать разными способами. Главными источниками выбросов являются автотранспорты, нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие отрасли, тепловые электростанции и др.

Рассмотрим тепловые электростанции, в которых основными ресурсами, используемые в деятельности являются уголь, нефть, газ. Эти ископаемые топлива в свою очередь приводят к значительным выбросам углекислого газа. Для уменьшения этих выбросов эффективным методом является применение синтез газа, при котором смесь пара и газа проходят химические реакции, после чего образуются водород  $H_2$  и оксид углерода  $CO$  [1]. При этом используемый синтез газ может применяться в газовой турбине как средство производства электроэнергии. Таким образом можно снизить выбросы  $CO_2$  в значительном количестве, которые составляют около 20-30%. Также выбросы оксидов азота и серы, образующиеся при сжигании топлива на электростанциях, пагубно влияют на окружающую среду и здоровье человека. На котлах ТЭС образуются большое количество оксидов азота за счет высокой температуры факела и наличия большого избытка воздуха в зоне горения [2]. Для снижения выбросов на котлах применяются метод снижения топлива посредством внешних воздействий на сжигание топлива и химический метод очистки дымовых

газов до перехода их в дымовую трубу [3]. При наличии оксидов азота и серы увеличивается вероятность появления кислотных дождей, смога и ряда других негативных эффектов. Для снижения образования оксидов азота и серы применимо улавливание сорбентов. Сжигание кислорода с добавлением адсорбента и ступенчатое сжигание окислителя является эффективным методом устранения  $SO_2$  при одновременном сжигании оксидов азота.

Уголь, используемый на тепловых электростанциях, является источником многих выбросов. Также на станциях наблюдается низкий уровень технологий улавливания и хранения золы и шлаков. Сам уголь содержит в себе большое количество элементов, способных проявлять себя негативным образом при сжигании. Из них главными золообразующими элементами являются: кремний, алюминий, железо, фосфор, кальций, магний, натрий, калий, сера. Каждый год при сжигании угля отмечается большое количество выбросов элементов таких как кадмий около 60 т, 50000 т никеля, 300 т ртути и др. [4]. Из-за использования низкокачественных, необогащенных углей появляются отложения тяжелых металлов. В первую очередь для их устранения следует использовать более чистый уголь, с меньшим содержанием тяжелых металлов, при контроле качества угля во время запуска. Далее для улавливания и удаления тяжелых металлов из выбросов можно установить системы очистки дымовых газов. Также сепараторы могут послужить хорошим средством для очистки золы, которые могут уменьшить содержание тяжелых металлов в угольной золе [5].

Деятельность тепловых электростанций основана на выработке электроэнергии и её передаче, которая получается посредством сгорания определенного вида топлива. Совершая полезную работу, деятельность ТЭС одновременно также вредит окружающей среде и её компонентам. Для баланса энергетики и экологии необходимо использовать эффективные меры, которые помогут держать на уровне тепловые электростанции с окружающей средой [6, 7].

### **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. – EDN OQRPGS.

2. Таймаров М.А., Ахметова Р.В., Сунгатуллин Р.Г., Лавирко Ю.В., Желтухина Е.С. Снижение вредных выбросов в атмосферу оксидов азота котлами ТЭС // Известия КазГАСУ. 2017. №1 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-vrednyh-vybrosov-v-atmosferu-oksidov-azota-kotlami-tes> (дата обращения: 26.10.2023).

3. Богачева, Т. М. Возможности сокращения вредного воздействия микропримесей и радионуклидов в дымовых газах и золошлаковых отходах ТЭС на окружающую среду / Т. М. Богачева, А. А. Сурмин // Евразийский союз ученых. – 2017. – № 3-1(36). – С. 34-38. – EDNYNEOFF.

4. Крылов, Д. А. "Токсичность" угольной тепло-электрогенерации / Д. А. Крылов // Горная промышленность. – 2016. – № 5(129). – С. 66. – EDN XBJKSX.

5. Крылов, Д. А. Тяжелые металлы в летучей золе ТЭС / Д. А. Крылов // Энергия: экономика, техника, экология. – 2010. – № 4. – С. 44-50. – EDNLSOZAV.

6. Сарбаева, Я.И. Внедрение альтернативных видов топлива, как фактор, повышающий экологическую безопасность в топливно-энергетическом 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. 116-120.

7. Хайруллина А.М., Маслов И.Н. Применение альтернативных видов топлива в энергетике. 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. 139-141.

УДК 621.313.2

## **ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

Юлия Александровна Гладышева<sup>1</sup>, Дмитрий Александрович Базин<sup>2</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Александр Игоревич Ляпин

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

<sup>1</sup>ugladyseva56@gmail.com, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru



**Аннотация.** В данной статье рассматривается актуальная задача оптимизации конструкции современных электрических машин. Введение обосновывает актуальность исследования, указывая на растущий спрос на электромобили и возобновляемую энергию, стремление к снижению выбросов вредных веществ и улучшению экологической ситуации, быстрое развитие новых материалов и технологий производства, а также конкуренцию на рынке электрических машин. Оптимизация конструкции электрических машин может принести значительные преимущества в различных отраслях промышленности и транспорта.

**Ключевые слова:** оптимизация, электрические машины, электромобили, возобновляемая энергия, экологическая ситуация, новые материалы, технологии производства, конкуренция.

## OPTIMIZATION OF THE DESIGN OF MODERN ELECTRIC MACHINES

Julia A. Gladysheva, Dmitriy A. Bazin  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
ugladyseva56@gmail.com, rezort12@mail.ru

**Abstract.** This article discusses the actual problem of optimizing the design of modern electric machines. The introduction substantiates the relevance of the study, pointing to the growing demand for electric vehicles and renewable energy, the desire to reduce emissions of harmful substances and improve the environmental situation, the rapid development of new materials and production technologies, as well as competition in the market of electric cars. Optimization of the design of electric machines can bring significant advantages in various industries and transport.

**Keywords:** Optimization, electric cars, electric vehicles, renewable energy, environmental situation, new materials, production technologies, competition.

Современные электрические машины играют важную роль в различных отраслях промышленности, транспорте и быту. Они являются ключевыми компонентами электромобилей, энергосистем и промышленных процессов. Оптимизация конструкции этих машин имеет большое значение для повышения их эффективности, надежности и устойчивости к различным условиям эксплуатации.

Электрические машины являются устройствами, которые преобразуют электрическую энергию в механическую работу. Основные компоненты электрической машины включают статор и ротор. Статор — это неподвижная часть машины, которая содержит обмотки и

магнитопроводы. Ротор — это вращающаяся часть, которая содержит постоянные магниты или обмотки.

Принцип работы электрической машины основан на взаимодействии магнитных полей статора и ротора. Когда электрический ток протекает через обмотки статора, создается магнитное поле. Это поле взаимодействует с магнитным полем ротора, что вызывает его вращение.

Электрические машины можно классифицировать по различным критериям, таким как тип преобразования энергии, тип питания, тип возбуждения, конструктивные особенности и другие. Каждый тип машины имеет свои преимущества и ограничения, и выбор оптимальной конструкции зависит от конкретных требований и условий эксплуатации [2].

Оптимизация конструкции электрических машин зависит от нескольких факторов:

1. Энергоэффективность: Конструкция машины должна быть оптимизирована для достижения высокой энергоэффективности, то есть минимизации потерь энергии во время преобразования.

2. Мощность и скорость: Конструкция машины должна быть адаптирована под требуемую мощность и скорость работы.

3. Тепловые условия: Машина должна быть спроектирована с учетом тепловых условий, чтобы предотвратить перегрев и обеспечить надежную работу при высоких температурах.

4. Механическая прочность: Конструкция машины должна быть достаточно прочной, чтобы выдерживать механические нагрузки, такие как вращение ротора или линейное движение [4].

5. Размер и вес: Оптимизация конструкции должна учитывать компактность и легкость машины, особенно в случае ее применения в транспортных средствах.

6. Стоимость производства: Конструкция машины должна быть экономически эффективной, то есть обеспечивать оптимальное соотношение между стоимостью производства и качеством работы.

7. Управление и контроль: Конструкция машины должна учитывать возможность управления и контроля ее работы, включая системы регулирования скорости, тока и напряжения.

8. Экологические аспекты: Оптимизация конструкции может также включать учет экологических аспектов, таких как снижение выбросов вредных веществ или использование возобновляемых источников энергии.

### **Методы оптимизации конструкции электрических машин**

Оптимизация конструкции электрических машин может осуществляться с использованием различных методов. Одним из них является математическое моделирование и симуляция работы машины. С

помощью компьютерных программ можно провести анализ и оптимизацию различных параметров конструкции, таких как размеры и форма обмоток, геометрия сердечника и ротора, расположение магнитов и других элементов. Это позволяет найти оптимальные значения параметров для достижения заданных целей, таких как максимальная эффективность или минимальные потери.

Еще одним методом оптимизации является применение эволюционных алгоритмов. Эти алгоритмы основаны на принципах естественного отбора и мутации и позволяют найти оптимальные значения параметров конструкции электрической машины.

Еще одним методом оптимизации является применение методов искусственного интеллекта, таких как нейронные сети или генетические алгоритмы. Эти методы позволяют находить оптимальные значения параметров конструкции электрической машины на основе анализа большого объема данных и построения математических моделей.

Кроме того, оптимизация конструкции электрических машин может осуществляться с использованием методов многокритериальной оптимизации. Эти методы позволяют учитывать несколько целевых функций одновременно, таких как максимизация эффективности и минимизация потерь. Они позволяют найти компромиссное решение, удовлетворяющее всем заданным критериям.

Комбинация этих методов позволяет достичь наилучших результатов в оптимизации конструкции электрических машин. Однако, выбор конкретного метода зависит от конкретной задачи и доступных ресурсов [1].

#### **Перспективы оптимизации конструкции электрических машин:**

Одной из перспектив оптимизации конструкции является использование новых материалов. Разработка и применение новых магнитных материалов с более высокой коэрцитивной силой позволяет создавать более компактные и эффективные постоянномагнитные машины. Также разработка материалов с низкими потерями в проводах и сердечниках позволяет увеличить эффективность индукционных и синхронных машин.

Другой перспективой оптимизации является разработка новых методов охлаждения. Улучшение систем охлаждения позволяет повысить мощность и длительность работы машин, а также уменьшить их размеры и массу [3].

Также оптимизация конструкции электрических машин может быть достигнута за счет разработки новых методов управления и контроля. Применение современных алгоритмов управления позволяет повысить

точность и эффективность работы машин, а также улучшить их динамические характеристики.

Кроме того, оптимизация конструкции электрических машин может быть достигнута за счет интеграции различных функций и компонентов. Например, использование интегрированных электронных устройств позволяет объединить в одном блоке управление, контроль и защиту машины. Это позволяет сократить размеры и массу машины, а также упростить ее эксплуатацию и обслуживание.

Использование новых материалов, интеграция новых технологий, учет нелинейных эффектов, учет экологических факторов и использование моделирования и симуляции — все это позволяет создавать более эффективные, надежные и экологически устойчивые машины.

Оптимизация конструкции электрических машин имеет огромный потенциал для улучшения их характеристик и устранения недостатков. Это позволит сократить потребление энергии, увеличить производительность и снизить выбросы вредных веществ. Оптимизация конструкции электрических машин является неотъемлемой частью развития электротехники и способствует созданию более устойчивого и экологически чистого будущего.

### **Источники**

1. Вольдек А.И. Электрические машины : учебник для студентов высших техн. учебн. заведений. Изд 2-е, 1974. 840 с.
2. Электрические машины : учебник / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. Москва, 1979. 287 с.
3. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины : учебник для вузов в 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Изд-во МЭИ, 2004. 652 с.
4. Кацман М.М. Электрические машины : учебник для студ. учреждений сред. проф. Образования. 12-е изд, Издательский центр «Академия», 2013. 496 с.

УДК 621.565.93/95

## **СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОДОВОДЯНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

Полина Владимировна Година

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Рустем Ренатович Вилданов

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

poliinator@yandex.ru

**Аннотация.** В данной работе представлен обзор эффективных рекомендаций по методам очистки водо-водяных теплообменников, также распространенных режимов и причин выхода их строя.

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат, очистка, эффективность, загрязнение, промышленность.

## METHODS OF PURIFICATION OF WATER-WATER HEAT EXCHANGERS

Polina V. Godina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

poliinator@yandex.ru

**Abstract.** This paper presents an overview of effective recommendations on methods for cleaning water-water heat exchangers, as well as common modes and causes of their failure.

**Keywords:** heat exchanger, cleaning, efficiency, pollution, industry.

В настоящий момент проблема загрязнения теплообменников является одной из актуальных в области теплоэнергетики. Существует необходимость в разработке эффективных методов и действенных способов предотвращения или снижения скорости загрязнения [1]. Для повышения эффективности теплообменного оборудования одним из подходов является своевременное обнаружение осадка и накипи на поверхностях теплообмена. Накипь, состоящая из отложений солей и продуктов коррозии из технической воды на поверхности нагрева теплообменных аппаратов, приводит к ухудшению коэффициента теплопередачи и эффективности обмена, что приводит к избыточному расходу энергоносителей, перегреву поверхностей нагрева котлов, снижению срока службы и увеличению затрат на обслуживание и ремонт теплообменного оборудования [2].

В жилищно-коммунальном хозяйстве и промышленности нередки случаи эксплуатации теплообменных аппаратов и комплектных котлов без специальной подготовки воды. Это приводит к образованию на внутренних поверхностях приборов и агрегатов накипи, которая ухудшает передачу тепла и снижает эффективность систем. Теплопроводность накипи металлов значительно ниже, чем теплопроводность металла самого прибора. Даже тонкий слой накипи приводит к резкому снижению теплопроводности и повышению температуры металлических поверхностей, что может привести к повреждению материалов и разрушению труб котлов. Большинство теплообменников, работающих с

водопроводной водой, подвержены загрязнению. Загрязненные теплообменники приводят к увеличению расхода теплоносителя и повышению температуры в обратном трубопроводе, что, в свою очередь, приводит к увеличению энергопотребления насосами и теплопотерям в системе. Для восстановления нормального режима работы необходимо выводить теплообменники из эксплуатации и очищать загрязненные поверхности [3].

В промышленности процесс очистки можно определить как удаление материала с целью восстановления исходного состояния технологической системы. Требования к очистке системы различаются в зависимости от конкретного технологического процесса. На практике операции по очистке, как правило, оцениваются на трех ключевых уровнях:

1. Валидация — определение и установка стандарта очистки. Она всегда должна быть актуальной и развиваться вместе с появлением новых технологий и методологий.

2. Проверка процесса очистки, то есть работает ли система очистки заданным и ожидаемым образом.

3. Мониторинг — непрерывное измерение определенных параметров в определенные моменты процесса очистки для определения того, находится ли процесс под контролем [4].

Исторически сложилось так, что технологическое оборудование открывалось и очищалось вручную. Сегодня подавляющее большинство промышленных операций по обработке жидкостей, режимов очистки, как правило, выполняются с использованием автоматизированной системы [5]. Очистка обычно включает в себя ряд ключевых этапов:

1. Предварительная обработка — для удаления с поверхности слабо связанных веществ;

2. Цикл моющего средства — циркуляция чистящих средств (кислоты или щелочи) растворяет и удаляет загрязняющие отложения с поверхности. Полученные компоненты удерживаются в растворе и удаляются с потоком жидкости;

3. Промежуточная промывка — промывка водой для удаления остаточных количеств отложений и чистящих средств из системы;

4. Санитарная обработка — обеззараживание поверхности с использованием термических или химических средств;

5. Заключительная промывка водой — циркуляция воды перед обработкой продукта [4].

Можно сделать вывод, что любая стратегия продления срока службы теплообменника должна учитывать ряд факторов, включая необходимую подготовку персонала, выбор материалов, конструкцию теплообменника и строгий контроль условий эксплуатации. Более глубокое изучение возможностей снижения загрязнения теплообменников позволит увеличить энергоэффективность теплообменных аппаратов.

## Источники

1. Хайбуллина А. И., Зиннатуллин Н. Х., Ильин В. К. Повышение эффективности работы теплообменного оборудования использованием пульсационных методов очистки //Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. – 2021. – Т. 23. – №. 1. – С. 59-67.
2. Кушнаренко В. М. и др. Причины преждевременного разрушения теплообменных труб энергетического оборудования //Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – №. 1 (49). – С. 75-84.
3. Saifullin E. R. et al. Method of assessing the thermal state of the heat transfer surfaces //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. – Т. 1058. – №. 1. – С. 012058.
4. Goode K. R., Christian G. K., Fryer P. J. Improving the cleaning of heat exchangers //Handbook of Hygiene Control in the Food Industry. – 2016. – С. 465-489.
5. Tamime A. Cleaning-in-place: dairy, food and beverage operations. – Blackwell Publishing, 2008.

УДК 621.311

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЕТРОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Мария Владимировна Гурова<sup>1</sup>, Евгений Васильевич Клейн<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, Гузель Рашидовна Мингалеева

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

<sup>1</sup>volvo.gur80@gmail.com, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

**Аннотация.** Возобновляемые источники энергии могут помочь решить проблему загрязнения окружающей среды в энергетике. В данной работе дана экологическая оценка ветроэнергетических установок. Ветрогенераторы оказывают влияние на климат, земли, фауну, вносят радиопомехи, являются источниками шума.

**Ключевые слова:** окружающая среда, турбины, уровень шума, ветровая энергетика, ветрогенераторы.

# IMPACT OF WIND POWER PLANTS ON THE ENVIRONMENT

Maria V. Gurova<sup>1</sup>, Evgeny V. Klein<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>volvo.gur80@gmail.com, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

**Abstract.** Renewable energy sources can help solve the problem of environmental pollution in the energy sector. In this paper, an environmental assessment of wind power plants is given. Wind turbines affect the climate, the earth, fauna, cause radio interference, and are sources of noise.

**Keywords:** environment, turbines, noise level, wind power, wind generators.

Использование энергии ветра — один из самых чистых и устойчивых способов производства электроэнергии, поскольку он не производит токсичных загрязнений и выбросов, вызывающих глобальное потепление. Ветер также богат, неисчерпаем и доступен, что делает его жизнеспособной и крупномасштабной альтернативой ископаемому топливу [1,2].

Воздействие ветроэнергетических установок на землепользование существенно различается в зависимости от места: ветряные турбины, расположенные на равнинных участках, обычно используют больше земли, чем те, которые расположены на холмистой местности. Однако ветряные турбины занимают не всю эту землю; они должны быть расположены на расстоянии примерно 5–10 диаметров ротора друг от друга. Таким образом, сами турбины и окружающая их инфраструктура занимают небольшую часть общей площади ветроустановки [3].

Исследование крупных ветряных электростанций в США показало, что они используют от 30 до 141 акра на мегаватт выходной мощности. Однако менее 1 акра на мегаватт подвергается постоянным нарушениям, а менее 3,5 акров на мегаватт - временно нарушаются во время строительства [3]. Оставшуюся часть земли можно использовать для множества других производственных целей, включая выпас скота, сельское хозяйство, строительство автомагистралей и др. Альтернативно, ветряные электростанции могут быть расположены на заброшенных или недостаточно используемых промышленных землях или в других коммерческих и промышленных местах.

Воздействие ветряных турбин на дикую природу, особенно на птиц и летучих мышей, широко документировано и изучено. Обзор рецензируемых исследований Национального координационного комитета



по ветроэнергетике (National Wind Coordinating Committee) выявил доказательства гибели птиц и летучих мышей в результате столкновений с ветряными турбинами и из-за изменений давления воздуха, вызванных вращающимися турбинами, а также в результате разрушения среды обитания. NWCC пришел к выводу, что эти воздействия относительно невелики и не представляют угрозы для популяций видов [4]. Сохранение ветряных турбин неподвижными во время низких скоростей ветра может снизить смертность летучих мышей более чем наполовину, не оказывая существенного влияния на выработку электроэнергии. Имеются данные по гибели летучих мышей. На двух участках восточного побережья США, где находились 63 ветровых установки, за 2 недели было убито 2200 летучих мышей. Другие воздействия на дикую природу можно смягчить за счет лучшего размещения ветряных турбин.

Оценка влияния ветровых электростанций на окружающую среду является многогранной задачей. Помимо того, что описано выше, они не требуют использования воды для производства энергии. Однако, строительство ветровых электростанций также может иметь некоторые негативные последствия для окружающей среды. Во-первых, они могут нарушить биологическое разнообразие экосистемы в местах их размещения, особенно если они расположены в уязвимых природных зонах. Во-вторых, они могут создавать шум и вибрации [5].

Таким образом, влияние ветровых электростанций на окружающую среду зависит от многих факторов, таких как местоположение станции, ее размер и конструкция, а также меры по снижению негативного воздействия на окружающую среду, такие как сохранение природных зон и использование звукоизоляции.

## **Источники**

1. Дарьина, П. И. Возобновляемые источники энергии и перспектива совместного использования с традиционной энергетикой / П. И. Дарьина, М. Ф. Набиуллина // 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. 7-11. – EDN JJTLID.

2. Набиуллина, М. Ф. Исследование работы гибридной мини-ТЭС на биотопливе с ветроэнергетической установкой / М. Ф. Набиуллина //

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. 719-722. – EDN LBABLI.

3. Denholm P., M. Hand, M. Jackson, S. Ong. Locations of wind power  
plants evaluated in this study //Land-use requirements of modern wind power  
plants in the United States. / National Renewable Energy Laboratory. –2009. –  
С.9-11.

4. National Wind Coordinating Committee (NWCC).Wind turbine  
interactions with birds, bats, and their habitats: A summary of research results  
and priority questions. –2010.

5. Говорушко С.М. Влияние хозяйственной деятельности на  
окружающую среду // Владивосток: Дальнаука. –1999.

УДК 656.1

## ПРИСАДКИ К ОХЛАЖДАЮЩИМ ЖИДКОСТЯМ

Дамир Даниалевич Зиятдинов

Науч. рук. д-р тех. наук, проф. Эльвира Рафиковна Зверева

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

ziyatdinovdamir@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются назначение и проблемы,  
возникающие при эксплуатации и хранении охлаждающих жидкостей, а также способы  
улучшения их качества.

**Ключевые слова:** присадки, охлаждающая жидкость, ингибитор коррозии,  
кавитация, компонентный состав, этиленгликоль.

## ADDITIVES TO COOLANTS

Damir D. Ziyatdinov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ziyatdinovdamir@gmail.com

**Abstract.** This article discusses the purpose and problems that arise during the  
operation and storage of coolants, as well as ways to improve their quality.

**Keywords:** additives, coolant, corrosion inhibitor, cavitation, component composition, ethylene glycol.

К охлаждающим жидкостям (антифриз) относят низкозастывающие технические жидкости для поглощения и отвода тепла от нагретых деталей, а также защиты от коррозионных процессов и накипи. При этом охлаждающие жидкости должны иметь повышенную теплоемкость и теплопроводность [1].

В состав охлаждающих жидкостей, как входят растворы этиленгликоля, полиэтиленгликоля, с содержанием небольших количеств пропиленгликоля, и с обязательным добавлением пакета присадок [2,3].

Присадки, вводимые в охлаждающие жидкости, являются ингибиторами коррозии (как правило, силикатными), пеногасителями, стабилизаторами [4].

В соответствии с требованиями, предусмотренными в различных стандартах и спецификациях для оборудования, основным свойством является отсутствие коррозии металлических компонентов системы охлаждения. Это свойство обеспечивается антикоррозионными присадками. Компонентный состав антикоррозионной присадки представлен в таблице 1 [5].

Таблица 1.

Компонентный состав антикоррозионных присадок

Компоненты	Состав, г/л
Силикат натрия	0,12-0,48
Тетраборат натрия	0,10-0,60
Нитрит натрия	0,18-0,50
Гексаметафосфат натрия	0,20-0,80
Углекислый натрий	1,20-1,50

При циркуляции жидкости по системе охлаждения возникают турбулентные (неоднородные) потоки, в которых возникают кавитационные пузырьки. Для уменьшения кавитации в охлаждающие жидкости, согласно стандарту ASTM 6210, вводят антикавитационные присадки, которые содержат в своем составе натрий и молибден в виде натриевых солей азотной и молибденовой кислот. Было установлено, что наличие данных веществ в ОЖ в определенной пропорции уменьшает степень кавитационной коррозии.

Необходимо обеспечить наличие антипенообразующего компонента в составе охлаждающих жидкости в обязательном порядке. Во время движения по каналам системы охлаждения она взбалтывается, что в отсутствие присадки приводит к образованию пены в охлаждающей жидкости. Это может привести к дисбалансу в теплообмене и, как результат, нарушению нормального функционированию двигателя. Один из самых эффективных видов пеногасителей – это силиконовые пеногасители, которые состоят из сложной смеси кремнийорганических олигомеров и органомодифицированных силиконов, а также органических ПАВ [6].

Антиокислители — это вещества, предотвращающие ухудшению свойств ОЖ путем недопущения разложения сырьевых компонентов. В большинстве случаев для решения данной проблемы применяются комплексоны, один из них – Трилон Б, также известный как динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты. Эти вещества указывают на состояние и функционирование охлаждающей жидкости. Отсутствие необходимых веществ в процессе использования охлаждающей жидкости приведет к потере свойств, в результате образуется агрессивная смесь этиленгликоля и воды. Необходимо чтобы антиокислительные присадки поддерживали эффективность других присадочных компонентов, не препятствуя выполнению их функций [7].

В последнее время для усиления эффекта добавляется пакет присадок. Совместный эффект от действия двух или нескольких присадок в ряде случаев оказывается выше. Это явление получило наименование синергизма.

Для получения максимального синергического эффекта нужно брать присадки в определенных концентрациях, нужно учитывать групповой и элементный химический состав охлаждающей жидкости, и условия ее эксплуатации (в первую очередь температуру).

### **Источники**

1. ГОСТ 26098-84 «Нефтепродукты. Термины и определения».
2. ГОСТ 159-52 «Жидкость охлаждающая низкотемпературная».
3. ГОСТ 28084-89 «Жидкости охлаждающие низкотемпературные. Общие технические условия».
4. Красная Л.В., Приваленко А.Н., Бородин Н.В., Овдиенко И.В., Зуева В.Д. Исследование применения охлаждающих жидкостей, на примере ОЖ-65 «Лена», в процессе эксплуатации в системах охлаждения радиоэлектронного оборудования // Нефтепромышленная химия. Материалы

VIII Международной (XVI Всероссийской) научно-практической конференции. Москва, 2021. С. 157-160.

4. Противокоррозионная присадка к охлаждающей жидкости энергетических установок: пат. 2267563 Рос. Федерация № 2004107028/02; заявл. 09.03.04; опубл. 10.01.06, Бюл. № 1.

5. Охлаждающая жидкость повышенной экологической чистоты для теплонепряженных двигателей внутреннего сгорания: пат. 2027796 Рос. Федерация № 5029519/26; заявл. 27.03.92; опубл. 27.01.95.

5. Противоизносная присадка к масляным смазочно-охлаждающим жидкостям: пат. 2041248 Рос. Федерация № 5032043/04; заявл. 05.02.92; опубл. 09.08.95.

УДК 621.311.22

## ОБЗОР КОМБИНИРОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ПГУ

Григорий Евгеньевич Иванов<sup>1</sup>, Дмитрий Александрович Базин<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Александр Игоревич Ляпин

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

<sup>1</sup>Teadses@yandex.ru, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе рассмотрен пример комбинированной работы блока парогазовой установки (ПГУ) и солнечного парогенератора. Рассмотрен принцип работы данной энергетической системы, обозначены положительные и отрицательные стороны ее использования.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, солнечные концентраторы, гибридные тепловые электростанции, энергоэффективность.

## OVERVIEW OF COMBINING RENEWABLE ENERGY SOURCES WITH CCPP

Grigory E. Ivanov<sup>1</sup>, Dmitry A. Bazin<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Teadses@yandex.ru, <sup>2</sup>rezort12@mail.ru

**Abstract.** This paper examines an example of the combined operation of a combined cycle gas turbine unit (CCGT) and a solar steam generator. The principle of operation of this energy system is considered, the positive and negative aspects of its use are indicated.

**Keywords:** combined cycle plant, solar concentrators, hybrid thermal power plants, energy efficiency.

Развитие энергетических компаний в сторону повышения эффективности процесса генерации энергии не теряет своей актуальности. Перспективу представляет комбинирование разных способов генерации, а именно традиционных с нетрадиционными. Переход во всем мире на использование только возобновляемых источников энергии для производства тепловой и электрической энергии на данный момент невозможен в силу несовершенства данной технологии, а также специфических климатических и региональных условий и требований промышленности в стабильной подаче большого количества энергии [1,2,3].

Одним из перспективных вариантов развития гибридных тепловых электростанций – интегрирование солнечных комбинированных схем в работу парогазовой установки (рис. 1). Данная гибридная система выработки энергии работает следующим образом: солнечные параболические коллекторы нагревают теплоноситель (термомасло, максимальная температура нагрева - 400°C), который через систему кожухотрубных поступает в котел-утилизатор, учитывая то, данной температура является недостаточной для современных паровых турбин, в месте с маслом в теплообменник поступает заранее нагретая питательная вода, перегретый пар, поступающий из теплообменника дополнительно нагревается пароперегревателем котла-утилизатора (приблизительно до 550°C). Солнечный генератор получает подогретую питательную воду от котла-утилизатора, взамен отдавая перегретый пар, который перемешиваясь с паром высокого давления, образует рабочее тело для паровой турбины. Из-за нестабильности работы солнечной составляющей установки, котел-утилизатор имеет дожигательное устройство, компенсирующее недостающее количество пара. Данная установка позволят вырабатывать четвертую часть от общего объема пара высокого давления с помощью солнечной энергии.

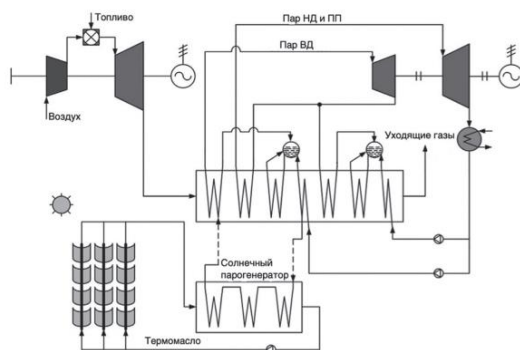


Рис. 1. Гибридная схема на основе ПГУ и солнечных коллекторов

На сегодняшний день рассмотренные гибридные тепловые электростанции функционируют в различных странах мира, однако все эти страны можно назвать теплыми и солнечными, что говорит о ограниченной географии эксплуатации подобных гибридных энергетических систем (таблица 1) [1-5].

Рассмотренный пример комбинирования ПГУ с ВИЭ является успешным и перспективным в дальнейшем развитии. Плюсом данной системы является минимальное влияние солнечной генерации на работу ПГУ, а разработка и использование более мощных солнечных коллекторов является одним из способов повышения эффективности работы установки.

Таблица 1

Примеры применения гибридных систем на основе ПГУ и солнечных коллекторов

Проект	Страна	Полная мощность, МВт	Мощность CSP, МВт	Статус
Martin Next Genetarian Solar Energy Center (MNGSEC)	США	1125	75	Работает с 2010 г.
Archimede Combined Cycle Power Plant	Италия	636	15	
Hassi R mel Integrated Solar Combined Cycle Power Station	Алжир	155	25	Работает с 2011 г.

ISCC Ain Beni Mathar	Марокко	472	20	
ISCC Kuraymat	Египет	140	20	
Yazd Solar Power Station	Иран	467	17	
Waad Al Shamal Iscc Plant	Саудовская Аравия	1390	50	В стадии строительства

### Источники

1. Эльмохлави, А. Э. Оценка производительности и энергоэффективности интегрированного солнечного комбинированного цикла электростанции / А. Э. Эльмохлави, В. Ф. Очков, Б. И. Казанджан // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т. 21, № 1-2. – С. 43-54.

2. Исследование режимных параметров солнечного нагревателя воздуха для гибридных тепловых электростанций в климатических условиях Вьетнама / Д. Н. Фам, Г. Р. Мингалеева, М. В. Савина, Е. Г. Шешуков // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12, № 3(47). – С. 123-134.

3. Ани, А. А. Повышение эффективности тепловой электростанции за счет гибридизации с солнечными технологиями / А. А. Ани, А. А. Дудолин // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. – 2023. – № 3. – С. 73-81.

4. Гемечу, Б. Д. Сравнительная технико-экономическая оценка работы гибридной гелио-геотермальной электростанции в условиях Эфиопии / Б. Д. Гемечу, М. Е. Орлов // Надежность и безопасность энергетики. – 2020. – Т. 13, № 4. – С. 296-303.

5. Рябов, Г. А. Гибридные ТЭС с использованием солнечной энергии. Новые приложения технологии кипящего слоя / Г. А. Рябов // Энергетик. – 2021. – № 6. – С. 20-24.



## СОВРЕМЕННЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Альбина Руслановна Иванова

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Рустем Ренатович Вилданов

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

ivanova5albina@gmail.com

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены требования, предъявляемые к комплексным воздухоочистительным устройствам (КБОУ) на сегодняшний день, рассмотрены критерии, которые необходимо учитывать при выборе системы фильтрации. Также рассмотрено устройство современных комплексных воздухоочистительных устройств.

**Ключевые слова:** современные системы воздухоочистки, газотурбинная энергетическая установка, системы фильтрации.

## MODERN COMPLEX AIR CLEANING DEVICES FOR POWER GAS TURBINE PLANTS

Albina R. Ivanova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ivanova5albina@gmail.com

**Abstract.** This paper examines the requirements for integrated air-purifying devices (ACDs) today, and considers the criteria that must be taken into account when choosing a filtration system. The design of modern integrated air purification devices is also considered.

**Keywords:** modern air purification systems, gas turbine power plant, filtration systems.

Фильтрация воздуха, поступающего в энергетическую газотурбинную установку (ГТУ), является неотъемлемой частью процесса работы ГТУ. С развитием технологий наблюдается тенденция модернизации систем фильтрации, расширения списка выполняемых ими задач: удаление твердых частиц, удаление влаги, последнее связано с увеличением эффективности установок за счет повышения температуры рабочего тела, что в свою очередь повышает чувствительность к

мелкодисперсным частицам пыли в поступающем воздухе. На данный момент комплексные воздухоочистительные устройства (КВОУ) имеют несколько ступеней, определяющих применимость системы фильтрации к конкретной среде и сфере эксплуатации.

Ввиду того факта, что воздух является основной составляющей рабочего тела ГТУ, повышение качества его очистки является актуальной задачей. Пренебрежение данным процессом может повлечь за собой загрязнение, коррозию и эрозию проточной части осевого компрессора и газотурбинной установки, тем самым повлиять продолжительность функционирования машин и их рабочие характеристики.

На сегодняшний день выбор КВОУ выполняется с учетом определенных параметров, а именно условия внешней среды, на месте установки ГТУ, предварительное определение потенциальных загрязняющих веществ, содержащихся в воздухе на месте установки. Фильтры выбираются исходя из веществ, которые необходимо удалить и требований к качеству воздуха, устанавливаемых производителями турбины. Рассмотрим строение современной системы фильтрации (рис.1).

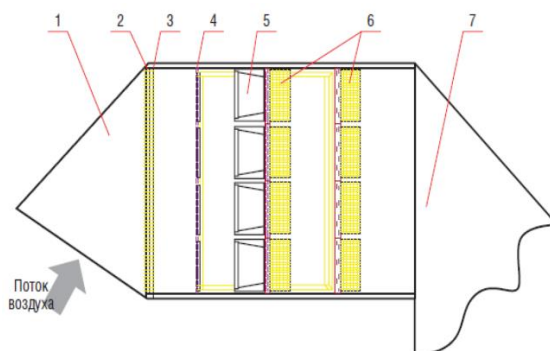


Рис. 1. Устройство многоступенчатой КВОУ

Современная система фильтрации (рис.1) состоит из погодных козырьков (1), противообледенительных систем и систем охлаждения (2), сетчатой защиты от попадания крупных объектов (3), влагоотделителя (4), фильтров грубой и тонкой очистки (5,6), шибера (7).

Газовые турбины средней и большой мощности, используемых в нашей стране имеют в комплектации системы фильтрации классов G4 – F8/F9, однако данные системы воздухоочистки не являются эффективными, так по данным страховых компаний, более половины неполадок на установках до 170 МВт связаны с работой силовой турбины и 12% от общей части неполадок приходится на компрессоры, а на установках нового поколения мощностью 220 МВт и больше, на

компрессоры приходится уже 35% от общего числа поломок, что говорит о необходимости совершенствовании систем фильтрации.

Особый интерес представляет развитие высокоэффективных систем фильтрации, разработка и тестирование которых ведется, начиная с 2004 года. Приведем список некоторых предприятий, эксплуатирующих высокоэффективные системы фильтрации (ВЭСФ) (рис. 2) [1-3].

Промышленность / размещение	Страна	ГТУ и выходная мощность	Количество промывок в год с отключением ГТУ до/после установки фильтров ВЭСФ	
			До	После
Производство пластмассы, прибрежный р-н	Соединенное Королевство	Rolls-Royce 501 KB7, 5 МВт	12	0
Пивоваренное производство, прибрежный р-н	Нидерланды	Rolls-Royce 501 KB5, 3,7 МВт	17	0
Пищевая промышленность, городской р-н	Германия	Rolls-Royce 501 KB7, 5 МВт	26	0
Производство электроэнергии, дорожная магистраль	Германия	Rolls-Royce 501 KH5, 3,7 МВт	8	0
Производство керамических изделий, промышленный р-н	Италия	Rolls-Royce 501 KB7, 3,7 МВт	52	0
Производство электроэнергии, прибрежный р-н	Европа	Rolls-Royce RB211, 31 МВт	3	Не кас.
Нефтеперерабатывающее производство, прибрежный р-н	Канада	GE LM6000 PD, 44 МВт	16	0
Нефтеперерабатывающее производство, прибрежный р-н	США	GE 6B, 39 МВт	0	0
Нефтеперерабатывающее производство, прибрежный р-н	Сингапур	GE 6FA, 75 МВт	2	0

Рис. 2. Предприятия использующие ВЭСФ.

Подводя итог, можем утверждать, что повышение качества работы КВОУ является актуальной задачей энергетики, так как позволит продлить срок эксплуатации газотурбинного оборудования, и снизить степень его изнашиваемости, что произведет положительный экономический эффект.

### Источники

1. Жохов, В. Л. Анализ применения фильтров-коагуляторов в КВОУ энергетических ГТУ / В. Л. Жохов, С. Н. Ленев // Газотурбинные технологии. – 2021. – № 1(176). – С. 38-43. – EDN EOHPPX.

2. Высокоэффективные системы фильтрации циклового воздуха для ГТУ серии LM производства GE / А. Р. Богдан, К. И. Леликов, В. Р. Нещерет, И. А. Юрьев // Турбины и дизели. – 2021. – № 4(97). – С. 14-19. – EDN WMPHRI.

3. Илюшин, П. В. Анализ опыта эксплуатации и причин возникновения аварий с повреждениями оборудования парогазовых установок / П. В. Илюшин // Энергоэксперт. – 2018. – № 3(67). – С. 64-68. – EDN HNAORV.

## РАСЧЁТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРА: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ И МЕТОДЫ

Евгений Васильевич Клейн

Науч. рук. д-р техн. наук, Гузель Рашидовна Мингалеева

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

zombee1997@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены способы расчета и улучшения показателей работы газогенераторных установок, используемых для производства горючих газов из органического топлива. Представлены основные характеристики, определяющие эффективность работы газогенератора. Приведены методы расчета.

**Ключевые слова:** газогенератор, коэффициент использования энергии, коэффициент избытка воздуха, эффективность газификации, теоретическая газификация, экспериментальная газификация.

## CALCULATION AND OPTIMIZATION OF THE GAS GENERATOR: KEY ASPECTS AND METHODS

Evgeny V. Klein

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

zombee1997@mail.ru

**Abstract.** The article discusses methods for calculating and improving the performance of gas generator sets used for the production of combustible gases from organic materials. The main characteristics that determine the efficiency of the gas generator are also described. Calculation methods are given.

**Keywords:** gas generator, energy utilization coefficient, excess air coefficient, gasification efficiency, theoretical gasification, experimental gasification.

Газогенератор – это устройство, предназначенное для получения горючих газов путем переработки органического сырья [1]. Эффективность работы газогенераторных установок имеет большое значение для снижения затрат на производство энергии.

Основные параметры для расчета газогенератора [2]:

1. Производительность. Производительность газогенераторной установки - это объем образующегося газа за определенный период

времени. Этот показатель является ключевым для оценки эффективности работы установки и ее способности удовлетворять потребности в газообразном топливе. Она зависит от типа сырья, его влажности, размера частиц и температуры.

2. Коэффициент использования энергии (КИЭ) показывает, насколько эффективно используется энергия топлива при его сжигании. КИЭ и потери энергии имеют обратную зависимость и при его увеличении, следовательно, уменьшаются затраты на выработку газа.

3. Коэффициент избытка воздуха, поступающего в газогенератор, характеризуется отношением фактически подаваемого объема воздуха к его теоретическому потреблению. Его оптимальное значение зависит от вида топлива и его характеристик.

4. Эффективность газификации определяет степень преобразования органического сырья в горючий газ. Этот параметр зависит от многих факторов, включая температуру, давление, влажность и размер частиц сырья [3].

Методы расчета газогенератора.

1. Метод теоретической газификации основан на использовании данных о составе исходного сырья и продуктов газификации. Он позволяет определить оптимальные параметры работы газогенератора, обеспечивающие максимальную эффективность газификации и минимальные затраты на производство [4].

2. Метод экспериментальной газификации. Экспериментальная газификация включает проведение серии опытов на реальных образцах сырья и определение оптимальных параметров работы газогенератора. Этот метод позволяет учесть влияние различных факторов на процесс газификации, однако он требует значительных затрат времени и ресурсов [5].

3. Метод численного моделирования. Численное моделирование позволяет рассчитать параметры работы газогенератора с учетом различных факторов и условий. Оно позволяет быстро и действенно определять оптимальные параметры газообразования, а также предугадать поведение системы во всевозможных условиях [6].

Расчет и калибровка эффективности работы газогенератора предполагают учет всевозможных изменений и аспектов. Выбор подхода для расчета может зависеть от требований к степени точности и стоимости проведения исследований. Сочетание различных методов позволяет получить наиболее полную картину процесса газификации и определить оптимальные параметры его работы.

## Источники

1. 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. – EDN UDGWEI.
2. Газогенераторы для производства синтез-газа: принципы работы, возможности и ограничения / А.Г. Лаптев, В.В. Карпов, А.А. Ларин и др. // Катализ в промышленности. – 2010. – № 4. – С. 3-19.
3. 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. – EDN FCQUUY.
4. Методы расчета и оптимизации работы газогенераторных установок / Е.С. Корниенко, Ю.А. Панов, А.И. Николаев и др. // Теплоэнергетика. – 2020. – № 6. – С. 55-63.
5. Основы расчета и проектирования газогенераторов / В.Л. Романов, Е.К. Климов, П.А. Новиков и др. – М.: Машиностроение, 1979.
6. Моделирование процессов газификации в газогенераторах: методы и результаты / А.С. Климентьев, А.М. Левин, А.В. Валуйко и др. // Химическая промышленность сегодня. – 2009. – № 11. – С. 45-53.

УДК 621.438, 621.311

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СТУПЕНИ МАЛОРАЗМЕРНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Александр Сергеевич Михайлов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Игорь Николаевич Маслов

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань, Республика Татарстан

alexmikhaylov24@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлено описание экспериментального исследования характеристик ступени малоразмерного центробежного компрессора, описание параметров измерений.

**Ключевые слова:** малоразмерный центробежный компрессор.

## **EXPERIMENTAL RESEARCH OF SMALL-SIZE CENTRIFUGAL COMPRESSOR STAGE CHARACTERISTICS**

Alexander S. Mikhailov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

alexmikhaylov24@gmail.com

**Abstract.** The article presents a description of an experimental study of the characteristics of a small-sized centrifugal compressor and a description of measurement parameters.

**Keywords:** small-size centrifugal compressor.

Центробежные компрессоры являются неотъемлемой частью многих промышленных процессов, таких как кондиционирование воздуха, системы охлаждения и пневматические инструменты. Они используются для сжатия и перемещения газов, что позволяет повысить давление и температуру, а также увеличить объемный расход [1]. Однако, для того чтобы добиться оптимальных характеристик компрессора, необходимо провести ряд экспериментов и исследований [2]. В данной статье описывается исследование характеристик ступени малоразмерного центробежного компрессора.

Для исследования характеристик ступени малоразмерного центробежного компрессора можно использовать различные методы и подходы. Один из наиболее распространенных методов – это проведение экспериментальных исследований на специальном стенде. Этот метод позволяет получить данные о работе компрессора в реальных условиях, а также определить оптимальные параметры его работы.

Кроме того, можно использовать численное моделирование работы компрессора с помощью специализированных программ. Это позволяет получить более точные данные о работе компрессора, а также изучить влияние различных параметров на его характеристики.

Также можно проводить аналитические исследования характеристик компрессора, используя уравнения, описывающие процессы,

происходящие внутри компрессора. Однако этот метод требует большого объема знаний и опыта в области аэродинамики и тепломассообмена.

Еще один метод исследования компрессора – это проведение испытаний на экспериментальном стенде с использованием различных типов рабочих тел. Это позволяет определить влияние различных факторов на работу компрессора и выбрать наиболее оптимальные параметры его работы.

Для проведения эксперимента было выбрано малоразмерное центробежное компрессорное устройство, которое состоит из нескольких ступеней сжатия. Измерение характеристик и параметров производилось при помощи специализированного оборудования.

Исследование характеристик включало в себя измерение следующих параметров: Мощность на входе и выходе из ступени компрессора; Давление на входе и выходе; Температура на входе и выходе; КПД ступени; Частота вращения рабочего колеса; Объемный расход на входе и выходе.

Все измерения проводились при различных значениях массового расхода, что позволило получить данные о зависимости характеристик ступени компрессора от нагрузки. Точность полученных величин оценена как величина предельной ошибки при косвенных измерениях, предварительно была выполнена проверка нормального распределения [3].

Заключение: тестовые измерения показали возможность применения использованных методик для определения характеристик ступени центробежного компрессора [4], а также правильность их выбора [5], вследствие приемлемой точности определения измеряемых параметров.

### **Источники**

1. Газотурбинные установки: теория и практика / под ред. С.В. Кузнецова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана., 2013.- 320 с.

2. Ахметзянов Т.С. Использование газотурбинных установок малой мощности для энергоснабжения в сельских районах 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. 602-605.

3. Гафин А.Р. Газотурбинные установки и их выбор на основании их особенностей 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. 102-104.

4. Газотурбинные установки: учебник для вузов / под ред. А.В. Шпаковского. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 512 с.

5. 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 В сборнике: 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.

УДК 622.279

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРБОДЕТАНДЕРА В ДОБЫЧЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Данил Андреевич Муругов

Науч. рук. к-т тех. наук, доцент Александр Вячеславович Титов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
danil.murugov@mail.ru

**Аннотация.** Данная статья направлена на рассмотрение процесса добычи природного газа, который служит основным топливом во многих предприятиях. Проведено исследование по эффективности использования турбодетандера в технологии добычи рассматриваемого топлива.

**Ключевые слова:** природный газ, турбодетандер, газовые скважины, добыча.

## THE USE OF A TURBO EXPANDER IN NATURAL GAS PRODUCTION

Danil A. Murugov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
danil.murugov@mail.ru

**Abstract.** This article is aimed at considering the process of natural gas extraction, which serves as the main fuel in many enterprises. A study was conducted on the efficiency of using a turbo expander in the technology of extraction of the fuel in question.

**Keywords:** natural gas, turbo expander, gas-tube plant, production.

Благодаря использованию детандерных турбин на станциях снижения давления природного газа можно производить чистую, «зеленую» электроэнергию. Такие установки рекуперации энергии используют потенциальную энергию природного газа, подаваемого под высоким давлением. Детандерные турбины не только эффективны и рентабельны, но и отвечают экологическим критериям – отсутствие выбросов двуокиси серы, оксидов азота или двуокиси углерода.

Природный газ является одним из самых надежных и распространенных источников энергии во всем мире, в резервуарах которого всегда высокое давление. В настоящее время, благодаря производству и поставке различных вариантов расширения турбин, появилась возможность вырабатывать электроэнергию за счет добычи природного газа. В этом исследовании, с учетом условий эксплуатации и эксплуатационных данных, исследуются возможность и преимущество использования турбодетандера в процессе добычи газа. Основываясь на результатах, Из каждой эксплуатационной скважины можно получить 0,26-1,1 МВт мощности, используя перепад давления в турбодетандере при расходе в диапазоне 0,5-2,0 млн м<sup>3</sup>/ч /d. Мощность по выработке электроэнергии, обусловленная условиями использования природного газа, может быть связана с производством газовых конденсатов, что также было изучено в данном исследовании.

В настоящее время большая часть мировой энергии поступает из ископаемого топлива. Учитывая глубину извлечения и связанные с этим затраты на переработку наряду с ограниченным количеством этих видов топлива, всегда следует искать новые источники энергии или оптимизировать методы извлечения, чтобы уменьшить потери энергии при использовании существующих источников энергии. В газовой промышленности всегда существует необходимость в снижении давления газа, что может значительно снизить потери энергии за счет использования турбодетандеров. Технология турбодетандера в настоящее время применяется в газовой промышленности для выработки механической энергии [1].

Турбодетандеры, также называемые расширительными турбинами, обеспечивают способ рекуперации потраченной впустую энергии в газовой промышленности и на нефтеперерабатывающих заводах. Турбодетандеры имеют широкий спектр применения, но здесь мы сосредоточены на рекуперации энергии и производстве электроэнергии. В настоящее время доступны различные модели турбодетандеров, начиная от от 75 кВт до 25

МВт, и они могут использоваться для различных применений [2]. Любой газ с высокой температурой или высоким давлением является потенциальным источником вторичной переработки энергии. Турбодетандеры для выработки электроэнергии могут рекуперировать максимальную полезную энергию, доступную в процессе снижения давления, и, таким образом, они обладают высокой эффективностью. Управляющим принципом турбодетандера является преобразование кинетической энергии газа в полезную энергию, такую как электрическая энергия, с помощью турбин. Когда газ проходит через часть высокого давления в турбодетандер, он приводит во вращение турбину и обеспечивает мощность на валу, как показано на рисунке 1.

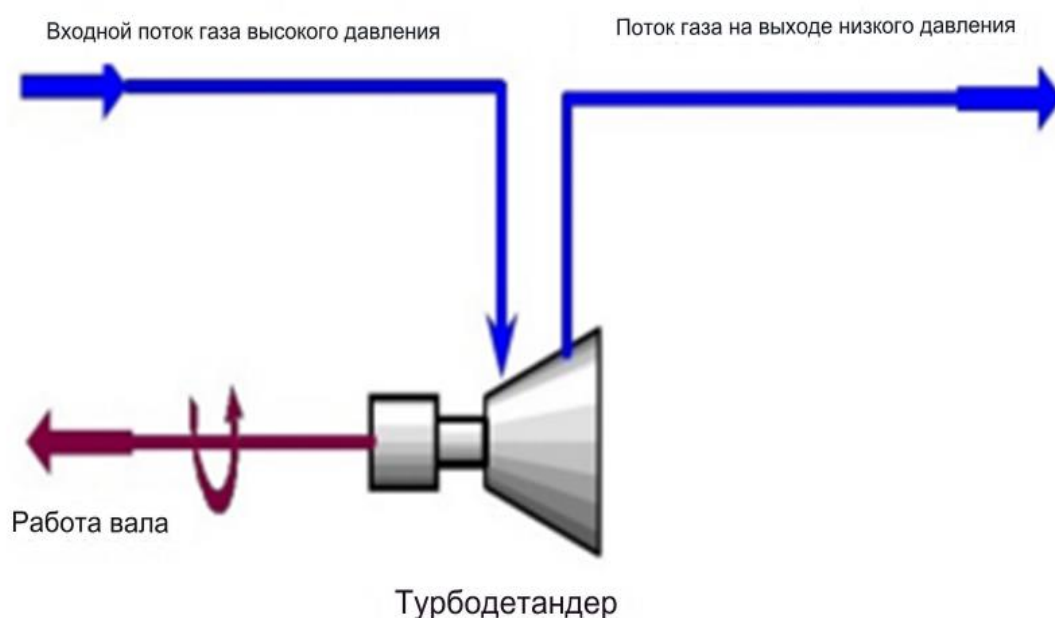


Рис. 1. Схема турбодетандера

Расширительная турбина - это центробежная или осевая турбина, с помощью которой газ высокого давления расширяется для получения работы, которая часто используется для приведения в действие компрессора или генератора. Следовательно, путем замены регулирующего клапана (дроссельной заслонки) или регулятора, используемого для снижения давления потока газа, турбодетандером доступная энергия потока жидкости, которая в противном случае была бы потеряна, может быть преобразована в работу вала для выработки электроэнергии и других целей.

Следует отметить, что выходная энергия пропорциональна соотношению давления, температуры и расхода. В процессе отбора газа для снижения давления газа обычно используются дроссельные клапаны (или редуccionные клапаны). В этом исследовании предпринята попытка оценить преимущество использования турбодетандеров вместо дроссельных клапанов для предотвращения потерь энергии в процессе снижения давления. Это исследование показывает, что значительное количество энергии, которая ранее была потрачена впустую, может быть восстановлено с помощью нового источника энергии.

Применение турбодетандера при добыче природного газа. Природный газ в основном состоит из метана, самой короткой и легкой молекулы углеводородов, а также различных количеств более тяжелых углеводородных газов, таких как этан, пропан, бутан, изобутан, пентан и даже углеводороды с более высокой молекулярной массой. Неочищенный газ также содержит значительное количество кислых газов, таких как углекислый газ или сероводород. В настоящее время различным компаниям удалось разработать турбодетандеры с высокими расходами и высоким давлением на входе, которые могут быть использованы в нефтегазовой промышленности [3].

### **Источники**

1. Lehman B, Worrell E(2001) Electricity Production from Natural Gas Pressure Recovery Using Expansion Turbines, In Proc. 2001 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry, 2: 24–27.
2. Andreia I, Valentin T, Cristina T, Niculae T (2014) Recovery of Wasted Mechanical Energy from the Reduction of Natural Gas Pressure, Procedia Engineering, 69: 986 – 990.
3. Journal of Petroleum Science and Technology 11(1): 29, 2021, Pages 29-34 DOI:10.22078/jpst.2021.4161.1673

УДК 621.311

## **ПЕРСПЕКТИВЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В РОССИИ**

Данил Андреевич Муругов

Науч. рук. к-т тех. наук, доцент Александр Вячеславович Титов

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

danil.murugov@mail.ru

**Аннотация.** Данная статья направлена на рассмотрение перспектив России в области комбинированных электрических станций. Главные преимущества ТЭЦ и ее новые модернизации в ближайшем будущем.

**Ключевые слова:** электростанция, теплоэлектростанция, комбинированный цикл, газовая турбина.

## PROSPECTS OF COMBINED ELECTRIC POWER PLANTS IN RUSSIA

Danil A. Murugov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

danil.murugov@mail.ru

**Abstract.** This article is aimed at considering the prospects of Russia in the field of combined power plants. The main advantages of the CHP and its new upgrades in the near future.

**Keywords:** power plant, thermal power plant, combined cycle, gas turbine.

Основой электроэнергетики на всю рассматриваемую перспективу останутся тепловые электростанции, удельный вес которых в структуре установленной мощности отрасли сохранится на уровне 60-70%. Самым эффективным способом энергоснабжения и энергосбережения в мировой практике признан способ комбинированного производства электрической и тепловой энергии на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) [1].

Электростанция с комбинированным циклом представляет собой сложную газопаротурбинную систему, в которой выхлоп газовой турбины используется для работы котла. В то же время произведенный пар подается в паровую турбину для выработки электроэнергии. Доступны различные электростанции с комбинированным циклом, которые эффективно обеспечивают повышенную выходную мощность и производят больше энергии, чем электростанции с простым циклом.

Ключевые тенденции, способствующие увеличению доли рынка электростанций комбинированного цикла, включают внедрение строгих экологических норм и правил по ограничению выбросов парниковых газов в секторе тепловой энергетики, работающего на угле, и быстрый технологический прогресс. Электростанции следующего поколения используют технологии машинного обучения для обеспечения точного моделирования своих основных эксплуатационных функций, что будет способствовать трансформации отраслевой ситуации.

Что касается мощности, то сегмент мощностью  $> 200$  МВт будет демонстрировать заметные темпы роста до 2032 года благодаря своей компактной конструкции и устойчивости к высокотемпературному окислению и коррозии. По оценкам, газовые турбины, установленные на этих электростанциях, достигнут единичной мощности более 250-350 МВт, а эффективность увеличится на 40% в ближайшие годы [2].

Ожидается, что размер рынка электростанций комбинированного цикла существенно вырастет в период с 2023 по 2032 год благодаря высокой эффективности цикла, большой производительности, экономической эффективности, низкому уровню выбросов и другим привлекательным характеристикам. Растущий спрос на энергию в России, вызванный быстрым ростом промышленной деятельности, ростом населения и экономическим развитием в стране с развивающейся экономикой, будет способствовать дальнейшему росту отрасли.

Одним из главных преимуществ ТЭЦ является ее способность повышать энергоэффективность за счет снижения расхода топлива. Но чтобы обеспечить актуальность системы в ходе перехода, сектору также необходимо будет продемонстрировать, что возобновляемые виды топлива с низким содержанием углерода, такие как ГПГ и водород, могут служить основными источниками топлива для систем ТЭЦ. Существующие и новые системы уже используют объемы водородной топливной смеси в диапазоне от 20% до 100%. В течение десятилетия, а во многих случаях гораздо раньше, новые ТЭЦ-системы будут способны сжигать 100% чистый водород. Существующие системы ТЭЦ, в том числе установленные сегодня, могут конвертировать водород на 100% по разумной цене и с минимальным временем простоя, поскольку эти преобразования могут происходить во время плановых капитальных ремонтов, которые обычно происходят каждые 8–10 лет для блоков с базовой нагрузкой [3].

### **Источники**

1. Patel S, A Complex Landscape for the Future of Combined Heat and Power, Journal of News & Technology for the Global Energy Industry, 2023.
2. Кожуховский И. С. Перспективы развития тепловой энергетики России / Российская энергетика: VII ежегодная конференция газеты «Ведомости». — М., 2013.
3. Скиба М. В. Тенденции развития рынка газотурбинных установок // Вестник СамГУ. Серия: Экономика и управление, 2015. №9/2. С. 156–164.

## ПОДГОТОВКА ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА К СЖИГАНИЮ В КОТЛАХ

Мадина Фаридовна Набиуллина

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Гузель Рашидовна Мингалеева

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

madinanabiullina@yandex.ru

**Аннотация.** В работе представлено сравнение физико-технических характеристик различных видов топлива и описаны преимущества гранул из лузги подсолнечника. Представлен обзор технологий производства топливных гранул.

**Ключевые слова:** подсолнечная лузга, топливные гранулы, пресс-гранулирование, окатывание.

## PREPARATION OF AGRICULTURAL WASTE FOR INCINERATION IN BOILERS

Madina F. Nabiullina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

madinanabiullina@yandex.ru

**Abstract.** The paper presents a comparison of the physical and technical characteristics of various types of fuel and describes the advantages of sunflower husk pellets. An overview of fuel pellet production technologies is presented.

**Keywords:** sunflower husk, fuel pellets, pressing, granulation.

Ограниченность углеродного сырья и его невозобновляемые запасы ведут к необходимости использования альтернативных видов топлива для получения тепловой и электрической энергии. Опилки, солома, лузга подсолнуха и прочие отходы сельского хозяйства являются подходящим сырьем для изготовления данного вида топлива [1].

В таблице 1 представлены физико-технические характеристики различных видов биотоплива и традиционного ископаемого топлива. Исследования показывают, что подсолнечная лузга по теплотворной способности близка к углю, а зольность ее в десятки раз ниже [2].

Однако использование лузги подсолнечника в чистом виде затруднено ее большим объемом при малом весе. Наиболее эффективным способом подготовки подсолнечной лузги к использованию в качестве топлива в котлах является ее гранулирование.

Таблица 1

Физико-технические характеристики древесной щепы, лузги подсолнечника, топливных гранул и каменного угля

Показатель	Древесная щепа	Лузга подсолнечника	Топливная гранула из лузги подсолнечника	Каменный уголь
Влажность, %	6÷8	4÷7	8÷10	2÷45
Зольность, %	0,5÷1,0	0,35÷3,0	1,0÷3,0	4÷14
Теплота сгорания, Q, МДж/кг	17,15	19,32	19,32	19,8÷21

В данной работе представлены технологии производства биотоплива (гранул) из подсолнечной лузги.

На АО «Алиментармаш» разработана аппаратурно-технологическая схема производства гранул путем прессования измельченной лузги подсолнечника (рис. 1) [3].

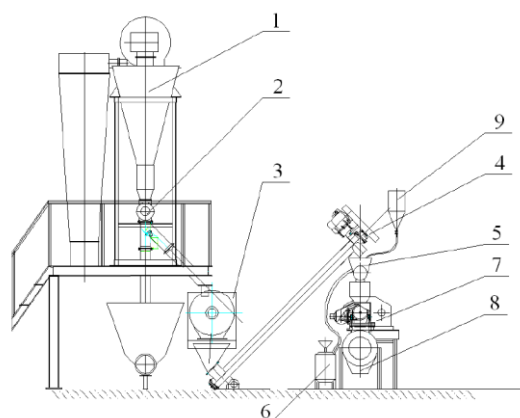


Рис. 1. Технологическая схема производства гранул из подсолнечной лузги путем прессования: 1 - циклон, 2 - шлюзовый затвор, 3 - молотковая дробилка, 4 - шнековый транспортер, 5 - смеситель лузги, 6 - парогенератор, 7 - пресс-гранулятор, 8 - барабанный сепаратор, 9 - бачок для воды



Подсолнечная лузга поступает в циклон 1, откуда, пройдя шлюзовый затвор 2, поступает в молотковую дробилку 3. Измельченная лузга подается в приемный бункер шнекового транспортера 4, а из него в приемный бункер смесителя лузги 5, где обрабатывается паром с использованием парогенератора 6 для размягчения волокон и активации связующего - лигнина. Далее распаренная шелуха поступает в камеру прессования пресса-гранулятора 7. Полученные на прессе-грануляторе мягкие горячие гранулы охлаждаются в барабанном сепараторе 8. Готовые к использованию гранулы складываются [3].

На рисунке 2 представлен тарельчатый гранулятор, где гранулообразование реализуется окатыванием измельченного сырья [4]

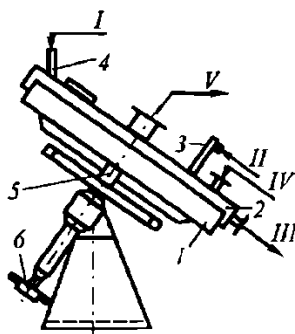


Рис. 2. Тарельчатый гранулятор: 1 – вращающаяся плита, 2 – кожух, 3 – форсунка, 4 – загрузочное сопло, 5 – приводной вал, 6 – регулятор; I – гранулируемый продукт, II – связующее, III – гранулы, IV – исходный теплоноситель, V – отработанный теплоноситель

На станине установлена вращающаяся плита 1, закрытая кожухом 2 с форсункой 3. Во время работы гранулятора измельченное сырье подается через загрузочное сопло 4 на наклонную вращающуюся плиту 1, где оно увлажняется из форсунок 3 и раскатывается в гранулы заданного размера. Угол наклона плиты можно регулировать с помощью устройства 6 [5].

Физико-химические свойства гранул из лузги подсолнечника подтверждают целесообразность их использования в качестве топлива. Подготовка топлива в виде гранул уменьшает его потери при транспортировке, хранении и переработке, улучшает технологические, экономические и экологические показатели его дальнейшего использования.

### Источники

1. Кинжибекова А.К., Алеева А.Ж. Исследование теплофизических характеристик брикетов из лузги подсолнуха // Актуальные вопросы

энергетики: материалы Международной научно-практической конференции. Омск, 2017. С. 82–86.

2. Забарный Г.Н., Ключ С.В., Довженко Д.С. Использование растительных отходов для производства энергии // Альтернативная энергетика и экология. 2011. Т. 8. С. 100–106.

3. Слюсаренко В.В. Комплект оборудования для производства твердого биотоплива (пеллет из лузги подсолнечника) // Проблемы региональной энергетика. 2010. Т. 2. С. 66-70.

4. Грануляторы тарельчатые [Электронный ресурс]. URL: <https://pkf-protem.ru/catalog/oborudovanie-dlya-granulirovaniya/granulyatory-tarelchatye> (Дата обращения 01.11.2023).

5. Шкарпеткин Е.А. Анализ методов получения гранул и средств для их реализации // Наука и современность. 2010. Т. 2-2. С. 378-383.

УДК 621.438.1

## **ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ВЫВОД В РЕМОТ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК.**

Ангелина Анатольевна Наумова

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Гузель Рашидовна Мингалеева

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

angelina\_naumova00@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются правила эксплуатации газотурбинных установок, причины аварий и неполадок, виды ремонта энергетических установок, а также вывод в ремонт газотурбинных установок.

**Ключевые слова:** авария, ремонт, эксплуатация, газотурбинная установка, дефекты, вывод в ремонт.

## **OPERATION AND REPAIR OF GAS TURBINE INSTALLATIONS.**

Angelina A. Naumova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

angelina\_naumova00@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the rules for operating gas turbine plants, the causes of accidents and malfunctions, types of repair of power plants, as well as the removal of gas turbine plants for repair.

**Keywords:** accident, repair, operation, gas turbine unit, defects, removal for repair.

К эксплуатации ГТУ выдвигается ряд правил, способствующих повышению безопасности. Так, например, чрезвычайно важно соблюдать правила эксплуатации и ремонта ГТУ, вовремя выявлять проблемы и устранять их, следить за состоянием установки, знать правила пуска и останова турбины. Внештатных ситуаций, влекущих за собой серьезные последствия, возможно избежать, зная специфику работы ГТУ, понимая важность периодических осмотров и ремонта.

Аварии и неполадки в ГТУ могут возникать на разных этапах жизненного цикла установки. Конструктивные и технологические недоработки, дефекты материалов, обычно, устраняются на этапе сдачи и пробной эксплуатации [1].

Нарушение режима эксплуатации часто приводит к тяжелым последствиям, вплоть до полного разрушения ГТУ. При эксплуатации могут возникнуть такие дефекты, как коррозия и деформация металла от высоких температур, механические и эрозионные износы, дефекты от плохого качества топлива. Также недопустимы ошибки, ведущие к снижению надежности и экономичности ГТУ или к загрязнению окружающей среды [2].

Увеличить число аварий и неполадок может также некачественно проведенный ремонт и монтажные работы. Грязь, сварочный грат, забытые внутри оборудования посторонние предметы, обтирочные концы и остатки электродов могут вызывать сложноустраняемые аварии. Не допускается и повреждение оборудования при монтаже. Причинами таких повреждений зачастую являются незнание правил ремонта, несоблюдение правил строповки или банальная невнимательность персонала, обеспечивающего ремонтные работы.

При необходимости вывода ГТУ в длительный резерв должна быть выполнена ее консервация. Продолжительность останова, при которой требуется консервация, определяется заводом-изготовителем [3].

Виды ремонтов ГТУ:

1. Плановый ремонт. Осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

2. Неплановый или аварийный ремонт. Постановка на такой вид ремонта осуществляется без назначения, ремонт проводится при отказе энергетической машины.

3. Текущий ремонт. Проводится для обеспечения или восстановления работоспособности энергетической установки, заменяются или восстанавливаются отдельные части ГТУ.

4. Средний ремонт. Осуществляется для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса ГТУ.

5. Капитальный ремонт. Проводится до практически полного восстановления ресурса ГТУ, предполагает замену или ремонт любых составляющих частей установки.

Периодичность средних и капитальных ремонтов ГТУ устанавливается в связи с учетом фактического состояния оборудования, но не реже одного раза в год. Текущие ремонты проводятся в соответствии с действующим регламентом техобслуживания [4].

Вывод в ремонт газового оборудования необходимо производить в следующем порядке:

- закрыть задвижки на входе и выходе ремонтируемого оборудования;
- открыть вентили продувочных трубопроводов на ремонтируемом оборудовании;
- проверить герметичность закрытия входных и выходных задвижек; установить токопроводящие перемычки и заглушки во фланцах задвижек;
- продуть сжатым воздухом (или инертным газом) до вытеснения всего газа оборудование, выводимое в ремонт, совместно с газопроводами. Окончание продувки определяется анализом, при котором остаточное содержание газа в продувочном воздухе (при инертном газе) не превышает 1% по объему.

После окончания ремонта проводятся испытания на прочность прежде, чем вывести установку в режим обычной работы [5].

Тем не менее, аварий и тяжелых повреждений деталей и узлов ГТУ возможно избежать за счет своевременного и качественно проведенных ремонтов, периодических осмотров и избегания эксплуатации ГТУ свыше гарантийного ресурса, назначенного заводом-изготовителем.

### **Источники**

1. Соколов, М.П. Диагностика причин отказов наземных газотурбинных установок / Научный вестник МГТУ ГА, 2006, №109. С. 70-74.

2. Мясников, Ю.Н., Никитин, В.С., Равин, А.А. Эксплуатационные дефекты судовых дизельных и газотурбинных двигателей / Труды Крыловского государственного научного центра, 2018, № 3 (385). С. 85–96.

3. Глотов, А.В., Черемисинов, С.В. Подходы к реализации системы предиктивного анализа генерирующего оборудования / Вести в электроэнергетике, 2019, № 6 (104). С. 36-48.

4. Енговатов, И. А. Вывод из эксплуатации газотурбинных установок (на примере блоков атомных станций). Учебное пособие / И.А. Енговатов, Б.К. Былкин. - М.: МГСУ, 2019. - 128 с.

5. Вьюнов, С.А. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей / С.А. Вьюнов. - М.: Книга по Требованию, 2020. - 566 с.

УДК 621.791.722

## **ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ**

Лия Золькарамовна Сафина<sup>1</sup>, Игорь Николаевич Маслов<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>lia.safina.04@mail.ru, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы повышения экономической эффективности электронно-лучевой сварки; предложены методы повышения качества сварных соединений, устранения дефектности, сокращения затрат и времени на изготовление изделий в процессе электронно-лучевой сварки.

**Ключевые слова:** электронно-лучевая сварка, дуговая сварка, оплавление шва, термообработка шва, стали, сплавы.

## **EVALUATION OF METHODS FOR INCREASING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF ELECTRON BEAM WELDING PROCESSES THAT ENSURE HIGH QUALITY OF STRUCTURES MADE OF STEELS AND ALLOYS**

Lia Z. Safina<sup>1</sup>, Igor N. Maslov<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>lia.safina.04@mail.ru, <sup>2</sup>ig-mas@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the issues of increasing the economic efficiency of electron beam welding; methods are proposed to improve the quality of welded joints, eliminate defects, reduce costs and time for manufacturing products in the process of electron beam welding.

**Keywords:** electron beam welding, arc welding, seam reflow, heat treatment of the seam, steels, alloys.

Значительные затруднения возникают при дуговой сварке конструкций из сталей и сплавов толщинами более 200 мм: низкая производительность; появление деформации из-за высокого тепловыделения; большое энергопотребление; потребность в неизменности качества многопроходных швов [1]. Наиболее подходящим для исключения данных недостатков в процессе является способ электронно-лучевой сварки (ЭЛС).

Электронно-лучевая сварка основана на использовании энергии, высвобождаемой при торможении потока ускоренных электронов в свариваемых материалах [4]. ЭЛС характерно точное глубокое проплавление [2].

Способ электронно-лучевой сварки перспективен для соединения металлоконструкций из высокоактивных, тугоплавких металлов в ядерной энергетике, радиоэлектронике, самолетостроительной промышленности, турбостроении.

Электронно-лучевая сварка имеет значительное количество преимуществ в отличие от дуговой сварки: меньший расход электроэнергии и материалов; высокая концентрация теплоты, что даёт возможность сваривать металлы большой толщины за один подход; отсутствие насыщения газами расплавленного металла; высокая глубина проплавления и её концентрация по всему диапазону – получение узких и глубоких швов; небольшие деформации.

Но несмотря на большое количество преимуществ, у ЭЛС есть и недостатки [5]. В процессе возникает необходимость предварительной и последующей термообработки изделий, ЭЛС применяется в основном для сварки высоколегированных сталей, которые склонны к появлению дефектов. Это увеличивает продолжительность производственного процесса, усложняет и повышает затраты в связи с необходимостью транспортировки изделия. После осуществления сварки, для снятия напряжений, требуется немедленный отжиг. Значительная продолжительность процесса возникает в результате герметизации, разгерметизации рабочей камеры при изготовлении каждого сварного

соединения. Необходимость механического удаления припуска может быть трудоёмко, если он удаляется вручную. Все эти особенности снижают экономическую эффективность процессов электронно-лучевой сварки [3].

Следовательно, актуальными вопросами повышения экономической эффективности ЭЛС являются: изучение возможности устранения технологического припуска с места проплава оплавлением; выявление воздействия оплавления шва на механические свойства сварного соединения.

Благодаря результатам проведённой оценки удалось установить следующие перспективы и возможности:

1. Чтобы уменьшить расходы на работу печи, персонала и издержки транспортировки изделия до печи необходимо термообрабатывать шов.

2. Выполнять оплавление корня шва для улучшения механической прочности соединения, устранения дефектов, которые могут появиться в процессе сварки.

3. Процесс сварки автоматизировать, благодаря чему минимизируется человеческий фактор на предприятии.

4. Сокращение производственного цикла в 20 раз вследствие сокращения числа циклов герметизации и разгерметизации.

### **Источники**

1. Васильев В.И., Ильященко Д.П., Павлов Н.В. Введение в основы сварки: учебное пособие; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. С. 317.

2. Демичев С.Ф., Рясный А.В., Усольцев А.Л. Технология и оборудование сварочного производства // – Учеб. пособие: Самара, 2010. С. 75.

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. Назаренко О. К., Истомина Е. И., Локшин В. Е. Электронно-лучевая сварка // Машиностроение. Харьков, 1985. С. 127.

5. Полухин П. И., Гринберг Б. Г., Жадан В. Т., Кантеник С. К., Васильев Д. И. Технология металлов и сварка // М.: Высшая школа, 1977. С. 464.

## ПРИМЕНЕНИЕ СМЕСИ БИОГАЗА И ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ПАРОВОГО КОТЛА

Камиль Ильгизарович Сунгатуллин

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Юлия Викторовна Караева

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

ksungatullin061@gmail.com

**Аннотация.** В статье дано описание нового способа получения газообразного топлива, состоящего из биогаза и водорода, для последующего сжигания в топке парового котла. Биологическая обработка органических отходов позволяет получать высококалорийный газ. Представлен состав водородсодержащего биогаза, рассчитана низшая теплота сгорания. Описаны особенности применения этого топлива в паровых котлах.

**Ключевые слова:** биогаз, водород, органические отходы, парогенератор, эффективность.

## APPLICATION OF A MIXTURE OF BIOGAS AND HYDROGEN AS A FUEL FOR A STEAM BOILER

Kamil I. Sungatullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ksungatullin061@gmail.com

**Abstract.** The article describes a new method for producing gaseous fuel consisting of biogas and hydrogen for subsequent combustion in the furnace of a steam boiler. Biological treatment of organic waste produces high-calorie gas. The composition of hydrogen-containing biogas is presented, and the lower calorific value is calculated. The features of using this fuel in steam boilers are described.

**Keywords:** biogas, hydrogen, organic waste, steam generator, efficiency.

Органические отходы можно использовать в качестве сырья для получения возобновляемых энергетических ресурсов [1]. Для этого, как правило, применяют методы биологической переработки, такие как, анаэробное сбраживание и темновая ферментация [2, 3]. Биогаз традиционно получают путем анаэробного сбраживания биоразлагаемых отходов. Темновая ферментация направлена на производство водорода. Особенно



актуальным является реализация каскадного подхода в технологическом цикле, когда отходы после стадии генерации водорода будут исходным сырьем для процесса получения биогаза. Таким образом, комбинирование темновой ферментации и анаэробного сбраживания позволит получать новую топливную смесь.

Биогаз состоит из метана (до 60-75 %), углекислого газа (до 40 %) и некоторого количества примесей (до 7 %). Такой состав провоцирует нестабильность пламени при сжигании в топке котла. Водород – экологически чистое топливо, так как при его сжигании образуется обычная вода, также он обладает наибольшей теплотворной способностью (120-140 МДж/м<sup>3</sup>). Добавление водорода позволяет решить проблему нестабильности горения. Кроме того, это технологическое решение увеличивает калорийность газообразного топлива.

Схема получения смеси биогаза и водорода представлена на рисунке 1. После темновой ферментации газ содержит CO<sub>2</sub>, поэтому предусмотрена очистка биоводорода в скруббере. Анаэробное сбраживание будет осуществляться в мезофильном режиме. В газгольдере реализуется промежуточное хранение газовой смеси перед подачей в паровой котел.

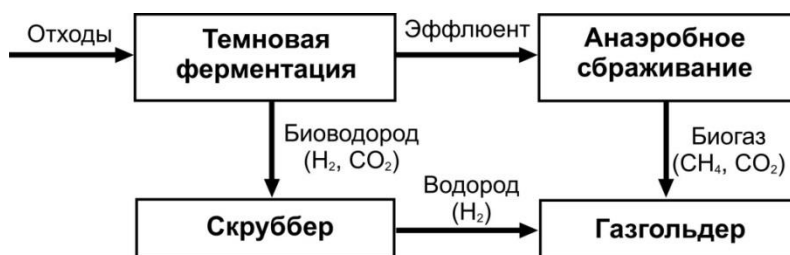


Рис. 1. Схема получения смеси биогаза и водорода

В таблице 1 представлен состав газообразного топлива, полученного из отходов животноводческого комплекса.

Таблица 1

Состав топливной смеси

С	Содержание, %				
	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
мес ь	14.99	56.81	19.63	8.09	0.48

обогащена водородом. Низшая теплота сгорания такого топлива равна  $Q_H^c = 38\,466.897$  кДж/кг. Использования биогаза и смеси его с водородом

обоснованно уменьшением запасов органического топлива и проблемой экологических выбросов на энергетических предприятиях [4].

Доказано, что увеличение доли водорода в смеси с метаном при сжигании в паровых котлах вызовет изменение тепловосприятия всех поверхностей нагрева, расположенных в газовом тракте котла, температуры газов и, в конечном итоге, КПД, что потребует серьезного пересмотра конструкции традиционных парогенераторов. Следует отметить, что необходимо принять меры, исключающие возможность самовоспламенения водородсодержащих газов ввиду их повышенной пожаро- и взрывоопасности. Снижение выбросов водяного пара и углекислого газа в атмосферу при сжигании водородсодержащих биогазов в паровых котлах возможно при использовании конденсационных теплоутилизаторов, что позволяет повысить эффективность использования топлива и увеличить тепловую мощность энергетической установки [5]. Таким образом, применение смеси биогаза и водорода для сжигания в паровом котле является актуальным направлением исследований.

### **Источники**

1. Lisbona P., Pascual S., Pérez V. Waste to energy: Trends and perspectives // *Chemical Engineering Journal Advances*. 2023. Vol. 14. 100494.
2. Casper D' Silva T., Khan S.A., Kumar S., et Al. Biohydrogen production through dark fermentation from waste biomass: Current status and future perspectives on biorefinery development // *Fuel*. 2023. Vol. 350. 128842.
3. Uddin M. N., Siddiki Sk.Y.A., Mofijur M., et al. Prospects of Bioenergy Production From Organic Waste Using Anaerobic Digestion Technology: A Mini Review // *Frontiers in Energy Research*. 2021. Vol. 9.
4. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты в системах теплоснабжения (биогаз из различных видов биомассы) / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т; сост. Г.М. Климов. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. – 33 с.
5. Росляков П.В., Рыбаков Б.А., Савитенко М.А., Ионкин И.Л., Лунинг Б. Оценки возможностей снижения выбросов парниковых газов при сжигании топлив в котлах ТЭС и котельных // *Теплоэнергетика*. 2022. № 9. С. 97–106.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ НАМИБИЯ

Обаджа Ханго

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Гузель Рашидовна Мингалеева

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

khango80@bk.ru

**Аннотация.** Энергия древесной биомассы может использоваться для производства электрической и тепловой энергии в Намибии. В стране в огромном количестве распространились кустарники, наносящие вред сельскому хозяйству. В этой работе отражено как текущее состояние, так и перспективы использования биомассы кустарников. Таким образом, биомасса может успешно дополнить существующую энергетику, а также сократить расходы страны на импорт энергоресурсов.

**Ключевые слова:** древесная биомасса, энергетика, возобновляемые источники энергии, энергобезопасность.

## UTILIZE BIOMASS IN THE REPUBLIC OF NAMIBIA'S ENERGY SECTOR

Obadja Hango

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

khango80@bk.ru

**Abstract.** Wood biomass energy can be used to produce electricity and heat in Namibia. Shrubs have spread in large numbers across the country, causing harm to agriculture. This work reflects both the current status and prospects for the use of shrub biomass. Thus, biomass can successfully complement the existing energy sector, as well as reduce the country's energy import costs.

**Keywords:** woody biomass, energy, renewable energy sources, energy security.

Национальная энергетическая компания NamPower планирует построить электростанцию Otjikoto мощностью 40 МВт, работающую на биомассе, недалеко от Цумеба [4]. Этой электростанции потребуется около 205 000 тонн древесной щепы в год, при условии, что коэффициент мощности завода составляет 70%. При средней урожайности 10 тонн щепы с гектара топливо, необходимое в течение 25-летнего срока службы

растений, требует прореживания кустов на площади чуть более 400 000 га[1].

С положительной стороны разрастание кустарников приводит к увеличению запасов древесной биомассы. Однако в течение многих лет этот кустарник признавался не за его экономические возможности, а скорее рассматривался как вредитель, которого нужно было убить и удалить с земли любой ценой. До недавнего времени в Намибии фермеры использовали химикаты или бульдозеры, чтобы попытаться справиться с проблемой разрастания кустарника только для того, чтобы затем сжечь полученную древесную биомассу, чтобы освободить место для производства травы. Обычно это не только разрушительно для окружающей среды, но и экономически невыгодно [1].

Завод Ohorongo Cement в Намибии планирует использовать терн в качестве биотоплива для производства цемента, что поможет единственному производителю цемента в этой южноафриканской стране снизить затраты на энергию [2]. С 2011 года цементный завод в Охоронго, за которым в 2016 году последовали пивоваренные заводы Намибии, успешно используют биомассу кустарниковых зарослей для удовлетворения своих соответствующих потребностей в тепловой энергии, и при этом им также удалось снизить зависимость от импортируемого ископаемого топлива [1].

Кроме того, национальная энергетическая компания NamPower также находится на продвинутой стадии разработки проекта электростанции мощностью 40 МВт, работающей на биомассе, с использованием биомассы кустарниковых зарослей для выработки электроэнергии для национальной сети. Это также заменит энергию, получаемую преимущественно на ископаемом топливе [1, 3].

Электростанция на биомассе NamPower также планируется к строительству, однако ее финансовое завершение еще не достигнуто, и, как таковое, пока не гарантировано. Однако данное исследование предполагает, что проект будет продолжен, а ввод в эксплуатацию состоится в 2024 году. Несмотря на то, что проект рассматривается как важнейший для развития сектора биомассы, его общее воздействие будет относительно незначительным и эквивалентно уборке 16 000 гектаров в год.

Производители начинают сбор урожая задолго до обработки. Уборка урожая обычно производится катками, гидравлическими фрезами или бульдозерами. Собранный материал необходимо собирать в поле, формируя кучи или валки, что облегчает его последующую обработку.

Срубленный и собранный материал затем оставляют сушиться в поле примерно на 6–8 недель. За это время сушки влажность срубленного куста снижается примерно с 30–40% при срезке до примерно 10–20%.

Новая цепочка создания стоимости биомассы, ориентированная на экспорт, создаст значительные выгоды для Намибии в целом. Реализация экспорта 1 миллиона тонн биомассы принесет Намибии следующие выгоды.

Доходы от экспорта: предполагая экспорт свиноводческого топлива, это принесло бы дополнительные 1,4 миллиарда долларов в год экспортных поступлений, что было бы эквивалентно дополнительным 0,8% сверх национального валового внутреннего продукта.

Внутренние доходы: доходы от сбора и переработки биомассы составляют более 700 миллионов долларов в год; доходы от Транснамива составляют от 165 до 275 миллионов долларов в год, что эквивалентно увеличению их годовой выручки на 30–50%.

Доходы от использования биомассы составляют 155 миллионов долларов в год, что создает рабочие места внутри страны:

- будет создано более 1500 рабочих мест непосредственно для сбора урожая и переработки;
- будут созданы тысячи дополнительных косвенных рабочих мест в секторах логистики, услуг и сельского хозяйства.

Дополнительные преимущества от использования биомассы заключаются в том, что продуктивность земель будет увеличена более чем на 92 000 гектаров в год, а выгоды, связанные с туризмом, будут реализованы благодаря улучшению экосистемы, увеличению уровня грунтовых вод и влажности почвы [1, 5].

## Источники

1. Encroacher bush biomass in Namibia [Электронный ресурс] - URL: <https://voconsulting.net/wp-content/uploads/2022/05/Encroacher-Bush-Biomass-in-Namibia-Detlof-von-Oertzen-2020.pdf>. (дата обращения 04.10.2023 г.).
2. Namibia: Ohorongo's biomass boost [Электронный ресурс] - URL: <https://www.cemnet.com/news/story/154928/namibia-ohorongo-s-biomass-boost.html> (дата обращения 10.10.2023 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 21.10.2023 г.).

4. Bush-to-Energy: Nampower Otjiko to Biomass Power Plant [Электронный ресурс] - URL: <https://www.n-big.org/bush-to-energy-nampower-otjikoto-biomass-plant/> (дата обращения 24.10.2023 г.).

5. Availability, Quality and Suitability of Bush Biomass from Namibia for the Purpose of Substituting Fossil Fuels in Energy Generation in Hamburg [Электронный ресурс] - URL: [http://library.n-big.org/wp-content/uploads/2020/12/Bush-Biomass-Supply\\_Namibia-Final-Report-v2-1.pdf](http://library.n-big.org/wp-content/uploads/2020/12/Bush-Biomass-Supply_Namibia-Final-Report-v2-1.pdf) (дата обращения 01.11.2023 г.).

УДК 620.92

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЛНОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Булат Русланович Хафизов<sup>1</sup>, Евгений Васильевич Клейн<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Гузель Рашидовна Мингалеева

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

<sup>1</sup>fifagf7@gmail.com, <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены волновые электростанции, плюсы и минусы данного способа альтернативной генерации энергии. Приведена краткая историческая справка и рассказано про самые эффективные типы волновых электростанций.

**Ключевые слова:** энергия волн, волновая электростанция, возобновляемые источники энергии.

## EXPERIENCE OF USING WAVE POWER PLANTS

Bulat R. Khafizov<sup>1</sup>, Evgeny V. Klein<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>fifagf7@gmail.com, <sup>2</sup>zombee1997@mail.ru

**Abstract:** The article discusses wave power plants, pros and cons of this method of alternative energy generation. A brief historical background is given and it is told about the most efficient types of wave power plants.

**Keywords:** wave energy, wave power plant, renewable energy sources.

В наше время, когда мир меняется с огромной скоростью, все больше и больше энергии используется. Это не только приводит к истощению наших энергетических ресурсов, но также создает серьезные экологические проблемы.

Поэтому все больше внимания уделяется развитию и новым открытиям в области альтернативных, возобновляемых источников энергии. Одним из таких направлений является использование энергии морских волн и океанов, или так называемая волновая энергия.

Первая подобная электростанция начала свою работу в Португалии 23 сентября 2008 года. Она находится в 5 километрах от берега. Ее спроектировала шотландская компания Pelamis Wave Power [1].

Волновая электростанция (ВЭС) - это часть энергетической системы, которая использует специальное оборудование для преобразования энергии морских волн в электричество (рис.1).

Среди преобразователей волновой энергии в электричество есть два основных типа: “утки” Солтера и плоты Коккерела. Оба они достаточно эффективны в использовании волновой энергии.

Есть также другие типы преобразователей, которые используют различные механизмы для преобразования волновой энергии в электрическую. Например, “волновая энергетическая машина” и “поплавковая волновая электростанция” (рис.2) [2].

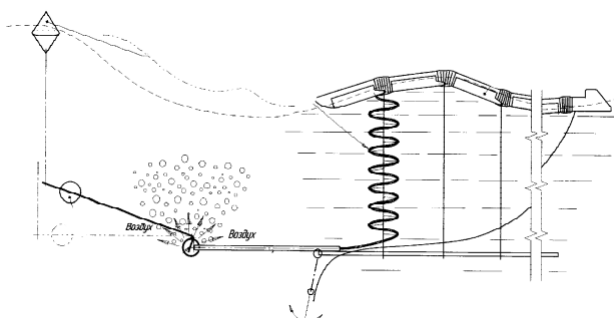


Рис. 1. ВЭС [2]

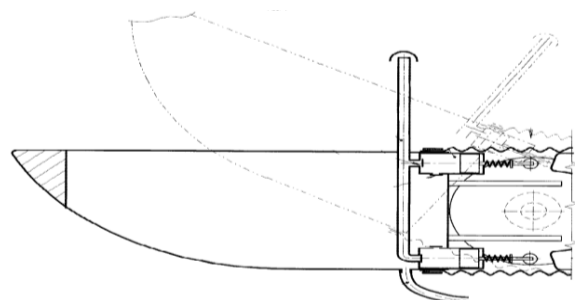


Рис. 2. Продольное сечение головного поплавка [2]

Плавучие волновые электростанции - это тип гидроэлектростанции, который может быть использован для более эффективного преобразования энергии морских волн и приливных течений в электричество. Недостатками данного изобретения является сложность сооружения, включение воздухопроводов и воздушной турбины, коэффициент преобразования которой меньше гидравлической и высокая материалоемкость на единицу извлекаемой энергии [3].

Один из самых перспективных источников энергии – это приливы и отливы, а также обычные морские волны. Одной из характеристик этих движений воды является их способность изменять направление в обоих направлениях, как по горизонтали, так и по вертикали[4].

В заключение следует отметить, что использование волновых электростанций выгодно во всех аспектах. Волны способны генерировать неисчерпаемую энергию, традиционные ресурсы - уголь, нефть и газ - с каждым годом истощаются, а восстанавливаются очень продолжительное время. Этот источник энергии имеет очень большой потенциал. Океан может обеспечить до 20% всей электроэнергетики, которая нам нужна. И что самое важное, этот источник энергии практически неисчерпаем. Следовательно, использование таких электростанций является рациональным решением и в будущем может помочь положить конец энергетическому кризису в мире [5].

### Источники

1. Федчишин, В. В. Волновые электростанции как инновационная альтернативная энергетика / В. В. Федчишин, О. М. Стефановская // Сборники конференций НИЦ Социосфера. – 2017. – № 21. – С. 24-27. – EDN YPBEMD.

2. Патент на полезную модель № 49135 U1 Российская Федерация, МПК F03B 13/16. Волновая электростанция : № 2005113562/22 : заявл. 03.05.2005 :опубл. 10.11.2005 / В. И. Семенов ; заявитель Федеральное Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. – EDN OUSLAY.

3. Патент № 2729565 C1 Российская Федерация, МПК F03B 13/22, F03B 13/26. плавучая волновая электростанция : № 2019129060 : заявл. 13.09.2019 :опубл. 07.08.2020 / Б. Д. Бабаев, Ю. Ц. Какваев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дагестанский государственный университет".

4. Патент на полезную модель № 123255 U1 Российская Федерация, МПК H02K 7/18. Приливно-волновая электростанция : № 2012126878/07: заявл. 28.06.2012: опубл. 20.12.2012 / С. Е. Барышников, Н. Н. Лаптев, Н. И. Маклецов, А. П. Зоткин ; заявитель ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО "АГРЕГАТНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО "ЯКОРЬ".

5. Назарова, Е. А. Особенности использования энергии волн в климатических условиях Чукотского автономного округа / Е. А. Назарова, Н.П. Местников // Молодые учёные России: сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 07 апреля 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 34-37. – EDNABHFGS.



## СОКРАЩЕНИЕ РАСХОДОВ НА ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ, КАК СПОСОБА СНЯТИЯ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Марсиля Марсовна Хафизова<sup>1</sup>, Георгий Евгеньевич Марьин<sup>2</sup>

Науч. рук. к-т техн. наук, доцент Александр Вячеславович Титов

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

<sup>1</sup>Marsilyahafizova@mail.ru, <sup>2</sup>george64199@mail.ru

**Аннотация.** В данной научной статье рассматривается метод снижения расходов на электроимпульсную обработку с целью снятия остаточных сварочных напряжений в конструкциях из сталей и сплавов. В работе представлены результаты исследований, обосновывающие эффективность данного метода и его влияние на снижение затрат на технологический процесс.

**Ключевые слова:** электроимпульсная обработка, сварочные напряжения, стали, сплавы, снижение расходов.

## REDUCING COSTS OF USING ELECTROPULSE PROCESSING METHODS AS A MEANS OF REMOVING RESIDUAL WELDING STRESSES FROM STEEL AND ALLOY CONSTRUCTIONS

Marsila M. Khafizova<sup>1</sup>, George E. Marin<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Marsilyahafizova@mail.ru, <sup>2</sup>george64199@mail.ru

**Abstract.** This scientific article examines a method for reducing costs associated with electropulse processing aimed at removing residual welding stresses in constructions made of steel and alloys. The paper presents research results that justify the effectiveness of this method and its impact on reducing expenses in the technological process.

**Keywords:** electropulse processing, welding stresses, steel, alloys, cost reduction.

Современное производство и металлообработка стремятся к постоянному совершенствованию и снижению затрат. В этом контексте электроимпульсная обработка, основанная на применении независимых генераторов импульсов напряжения и тока, становится весьма

перспективным методом снятия остаточных сварочных напряжений и обработки металлов.

С одной стороны, электроимпульсный метод дает значительное увеличение производительности и позволяет ускорить съём металла в жестких режимах. С другой стороны, он способствует снижению износа инструмента и энергопотребления, что оказывает положительное воздействие на технико-экономические показатели процесса [1].

Исследования и наблюдения показывают, что электроимпульсная обработка является наиболее эффективным методом, обладающим более широкой областью применения и возможностью улучшения качества обработки. Ее применение особенно актуально в прошивочно-копировальных работах, которые представляют собой сложные технологические задачи.

Процесс электроимпульсной обработки основан на использовании электрических импульсов большой длительности (от 500 до 10 000 микросекунд), которые создают дуговой разряд. В результате этого процесса можно достичь производительности, превышающей 5000 кубических миллиметров в минуту с чистотой поверхности выше класса. Эффективность данного метода дополнительно растет при увеличении импульсной мощности [2].

Электроимпульсная обработка отличается от других методов [3] более низкой энергоемкостью на жестких режимах, которая составляет 8-12 кВт-часов на килограмм диспергированного металла, и относительно низким износом инструмента, который может быть всего 0,2 - 20%. Чистота поверхности, достигаемая при этом методе, соответствует 4-му классу ( $H_{ср} = 25-30$  микрон), что делает его привлекательным в металлообработке [4].

Применение электроимпульсного метода значительно улучшает эффективность изготовления и ремонта штампов. Например, изготовление ковочного штампа с использованием электроимпульсного метода занимает 1,5-3 раза меньше времени по сравнению с копировально-фрезерными станками при схожей чистоте поверхности [5]. Таким образом, электроимпульсная обработка становится неотъемлемой частью современных технологий металлообработки, позволяя снижать издержки и повышать производительность.

#### **Источники**

1. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрин А.И., Малов И.Е., Михайлов В.С., Коломеец Н.П. Разработка технологии и нового

оборудования для ультразвуковой ударной обработки сварных соединений. Сварочное производство, 2015, № 9, с. 38–42.

2. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов. Москва, Химия, 2001. 376 с.

3. 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.

4. Volkov S.S. Effect of dimensions of the gap between the edges on the strength of ultrasound welded joints in rigid plastics. Welding International, 2003, vol. 17(6), pp. 482–486, doi: 10.1533/wint.2003.3154

5. Volkov S.S. Joining thermoplastics with metallic and non-metallic materials. Welding International, 2003, vol. 27(3), pp. 163–166, doi: 10.1080/09507116.2012.695551

УДК 662.769.21

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДА НА ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Малик Рустемович Хисамутдинов<sup>1</sup>, Евгений Васильевич Клейн<sup>2</sup>

Науч. рук. д-р техн. наук, Гузель Рашидовна Мингалеева

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

<sup>1</sup>nano300053v2@gmail.com, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

**Аннотация.** Водород– самый распространенный и экологически чистый элемент в мире, поскольку его использование не приводит к образованию оксидов и диоксидов, ограничивающих применение оборудования для выработки энергии. Рассмотрено применение водорода на тепловых электростанциях.

**Ключевые слова:** водородное топливо, теплотворная способность, экологичность.

## USE OF HYDROGEN IN THERMAL POWER PLANT

Malik R. Khisamutdinov<sup>1</sup>, Evgeny V. Klein<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>nano300053v2@gmail.com, <sup>2</sup>zombie1997@mail.ru

**Abstract.** Hydrogen is the most abundant and environmentally friendly element in the world, since its use does not lead to the formation of oxides and dioxides, which limit the use of energy generation equipment. The use of hydrogen in thermal power plants is considered.

**Keywords:** hydrogen fuel, calorific value, environmental friendliness.

В настоящее время наблюдается рост интереса к использованию водорода в качестве альтернативного источника энергии. Водород является наиболее распространенным элементом во Вселенной и одним из самых чистых видов топлива. Его применение в промышленности может привести к снижению выбросов парниковых газов, что, в свою очередь, положительно скажется на состоянии окружающей среды [1].

Водород имеет ряд уникальных свойств, которые делают его привлекательным для использования в различных отраслях промышленности. В последнее время все больше внимания уделяется использованию водорода в качестве альтернативного источника энергии на тепловых электростанциях [2].

Тепловые электростанции используют ископаемое топливо (уголь, природный газ, мазут) для выработки электроэнергии, что приводит к выбросам вредных веществ (диоксида углерода, оксидов азота, серы) в атмосферу. Водород, в свою очередь, является экологически чистым и возобновляемым источником энергии, и его использование может снизить выбросы вредных веществ и повысить эффективность работы тепловых электростанций [3].

Существует несколько технологий использования водорода на тепловых электростанциях [4]:

1. Прямое сжигание водорода. Водород может быть использован для сжигания вместо традиционных видов топлива, таких как уголь или природный газ. Это позволяет снизить выбросы загрязняющих веществ, так как при сжигании водорода образуется только водяной пар.

2. Совместное сжигание водорода и ископаемого топлива. Водород может добавляться к традиционному топливу для снижения выбросов вредных веществ. В этом случае водород выступает в роли катализатора, который ускоряет процесс горения и снижает образование вредных веществ.

3. Производство электроэнергии с использованием парогазового цикла. Водород дожигается в котле-утилизаторе и используется для производства пара, который затем приводит в действие турбину,

вырабатывающую электроэнергию. Эта технология позволяет повысить эффективность работы станции и снизить выбросы углекислого газа.

4. Использование топливных элементов. Топливные элементы преобразуют химическую энергию водорода и кислорода в электрическую энергию без образования вредных выбросов. Этот метод является наиболее экологически чистым и эффективным, но требует значительных инвестиций в инфраструктуру.

Использование водорода на тепловых электростанциях имеет ряд преимуществ, таких как снижение выбросов вредных веществ, повышение эффективности работы станций и возможность использования возобновляемых источников энергии. Однако есть и определенные трудности, связанные с производством и хранением водорода, а также с его транспортировкой к месту использования.

Водород, а, вернее, его смесь с кислородом, именуемая «гремучей», также обладает свойством при сгорании образовывать воду. Таким образом, существует вариант использования замкнутого цикла «электролизная установка → камеры сгорания топлива в ГТУ → вывод продуктов сгорания (воды) обратно в электролизёр» [5].

Сегодня использование водорода на тепловых электростанциях становится все более актуальным и перспективным направлением развития энергетики. Разработка новых технологий и увеличение инвестиций в эту отрасль могут помочь снизить выбросы парниковых газов и сделать энергетику более устойчивой и экологически чистой.

### **Источники**

1. Попадько, Н. В. Водородная энергетика: этапы развития, проблемы и перспективы / Н. В. Попадько, С. В. Панков, А. М. Попадько // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 293-296. – EDN NKLTVS.

2. 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. – EDN ZHVRCO.

3. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок / Г. Е. Марьин, Б. М. Осипов, А. Р. Ахметшин, М. В. Савина // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25, № 3(158). – С. 342-355. – DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355. – EDN RCIJEG.

4. Марьин, Г. Е. Перспективы водородного топлива в энергетическом секторе / Г. Е. Марьин, Ю. В. Сопина // Современная техника и технологии

в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения: Сборник трудов VI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов, Челябинск, 25 января 2022 года / Науч. редактор А.Н. Ткачѳв. – Челябинск: Южно-Уральский технологический университет, 2022. – С. 62-65. – EDN OKAFIT.

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. – EDN DFRRQF.

УДК 621.51

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОМПРЕССОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ЕГО ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Данил Викторович Шилкин

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

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

DanilsBrain@yandex.ru

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются факторы, вызывающие шум во время работы компрессорных установок. Определены виды компрессоров высокого давления, а также приводятся способы снижения шума.

**Ключевые слова:** высокое давление, шум, компрессор, конструкция, характеристики.

## **INFLUENCE OF THE HIGH-PRESSURE COMPRESSOR DESIGN ON ITS NOISE CHARACTERISTICS**

Danil V. Shilkin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

DanilsBrain@yandex.ru

**Abstract.** In this paper, the factors that cause noise during operation of compressor units are considered. The types of high-pressure compressors are determined, as well as ways to reduce noise are given.

**Keywords:** high pressure, noise, compressor, design, characteristics.

Во время работы на промышленном предприятии человек подвергается достаточно большому воздействию шумов, а в частности, компрессорных установок. Именно по этим причинам необходимо предпринимать меры по снижению шумов от компрессоров высокого давления. Данная проблема очень актуальна, т.к. шум работы компрессора может достигать 120 дБ, что негативно сказывается на здоровье человека [1].

На данный момент компрессорные установки широко применяются в отраслях производства и промышленности. Компрессорный сжатый воздух используется для различных процессов и операций: обдув; приводы механизмов; пескоструйная обработка; резка металла; создание давления в системах теплоснабжения с использованием жидкости (опрессовка).

Выделим основные типы компрессоров: поршневые; винтовые; жидкостно-кольцевые; спиральные; роторно-пластинчатые; шестеренчатые; мембранные [2]. Самыми шумными компрессорными установками можно назвать поршневые компрессоры, так как они имеют много подвижных частей, которые непосредственно контактируют друг с другом.

Как правило, шум компрессорных установок зависит от нескольких факторов: типа компрессора – винтовой, поршневой и т.д.; режима работы, вида привода – двигатель внутреннего сгорания или электродвигатель; производительности; наличия шумозаглушающих средств [3].

В качестве стандартных мер по снижению шума на стационарных и передвижных компрессорных установках применяются звукоизолирующие кожухи, которые могут быть изготовлены из звукоизолирующих, звукопоглощающих и вибродемпфирующих материалов. Это позволит снижать уровень шума на требуемую величину.

Рассмотрим звукоизолирующие материалы, имеющие хорошие звукоотражающие свойства. В качестве основного конструкционного звукоизолирующего материала применяются различные металлы, например, сталь или алюминий. Целесообразно и применение стеклопластика для повышения звукоизолирующих свойств, это позволит облегчить вес кожуха и установки в целом [4].

Звукопоглощающие материалы (ЗПМ) могут применяться для увеличения акустической эффективности при работе на высоких частотах. Эффективность использования ЗПМ связана с толщиной материала кожуха, а также увеличение толщины звукопоглощающих материалов активно себя проявляет на средних и низких частотах. ЗПМ могут иметь два вида строения:

– волокнистое – полотна из базальта или стеклянных волокон с облицовкой стеклотканью;

– вспененные – полиэтилен разных плотностей и полиуретан на основе полиэфира.

Не стоит и забывать о вибродемпфирующих покрытиях (ВДП). Они применяются для снижения интенсивности звукоизлучения металлоконструкций. ВДП делится на 4 группы: жесткие; армированные; мягкие; комбинированные. В качестве примеров ВДП можно привести мастики, эластомеры, металлы, нефтепродукты (битум). Толщина ВДП выбирается равной 2-3 толщины основного конструкционного материала [5]. Важно отметить, чем больше плотность вибродемпфирующего покрытия, тем выше коэффициент механических потерь. Необходимо соблюдать баланс при выборе ВДП, так как это может повлечь увеличение массы всего кожуха, что неприемлемо для передвижных компрессоров.

Подводя итоги, можно сказать, что значительная часть компрессорных установок даже без шумоизоляции требует доработки и разработки мероприятий, которые позволят не использовать звукоизолирующие кожухи. В качестве мер по снижению воздействия на человека можно отметить следующее: применение дистанционного управления компрессорами; рациональный режим труда и отдыха работника; применение средств индивидуальной защиты в виде наушников, вкладышей или заглушек.

### **Источники**

1. Терехов А.Л. Анализ результатов экспертизы неустранимости вредных Производственных факторов на рабочих местах ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2018. № 9. С. 81-83.

2. Кирпичников В.Ю., Сятковский А.И. Уменьшение вибрации конструкций тонкими армированными покрытиями на основе полимерной ВПС пленки // Защита от повышенного шума и вибрации: сб. док. VI Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участ. Санкт-Петербург. 2017. С. 382-388.

3. Дроздова Л.Ф., Кудаев А.В. Оценка и анализ шума компрессорных станций // NoiseTheoryandPractise, 2016, 3 (2), с. 30-37

4. Дроздова Л.Ф., Кудаев А.В., Куклин Д.А., Чеботарева Е.Ю. Анализ методов определения и нормирования шумовых характеристик компрессорного оборудования // NoiseTheoryandPractise. 2018. Т. 4, № 4(14). – С. 35-41.

5. Сайтов С. Р., Карачурин Б. Р., Сидоров М. В. Прогнозирование пиковых часов энергосбытовых компаний, входящих в реестр гарантирующих поставщиков АО "АТС" // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14, № 4(56). С. 59-68.



## Секция 5. Автоматизация технологических процессов и производств

УДК 64.011.56

### АНАЛИЗ ВНУТРЕННЕГО УСТРОЙСТВА ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА НА ПРИМЕРЕ ОВЕН ПЛК100

Арсений Владимирович Богданов

Науч. рук. канд. техн. наук Александр Нетфуллович Богданов

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

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

**Аннотация.** В статье приведены результаты анализа декомпозиции программируемого логического контроллера с целью формирования концепции самодельного управляющего блока для автоматизации различных процессов. В качестве примера использовался ОВЕН ПЛК100.

**Ключевые слова:** ПЛК, внутреннее устройство ПЛК, ОВЕН ПЛК100.

### ANALYSIS OF THE INTERNAL STRUCTURE OF A PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER ON THE EXAMPLE OF OVEN PLC100

Arseniy V. Bogdanov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of the analysis of the decomposition of a programmable logic controller in order to form the concept of a self-made control unit for automating various processes. OVEN PLC100 was used as an example

**Keywords:** PLC, internal structure, OVEN PLC100.

События 90х годов привели к тому, что разрабатываемые отечественными предприятиями программно-технические средства и интеллектуальные компоненты в области автоматизации с трудом могли конкурировать с импортными аналогами [1]. В результате большинство компаний предпочитали использовать зарубежные программно-технические средства промышленной автоматизации, в том числе программируемые логические контроллеры [2].

Однако события последних лет привели к необходимости перехода на отечественные аналоги. Это открыло больше возможностей для отечественных разработчиков как по увеличению применения уже используемых и доказавших свою надежность решений, так и по созданию новых устройств.

Одним из примеров отечественного устройства управления является ОВЕН ПЛК100 [3]. Данный моноблочный контроллер с дискретными входами и выходами предназначен для управления освещением, насосными группами, вентиляторами, подъемниками, станками, для задач релейной защиты, АВР и т.п.

Данный контроллер является примером стремления разработчиков к миниатюризации. Если раньше программируемые логические контроллеры представляли собой несколько больших шкафов, соединенных проводами, то сейчас они могут поместиться в небольшую пластиковую коробку размером 105x90x65мм. Уменьшение размеров потребовало значительных изменений в конструкции контроллера. Ознакомиться с современной структурой управляющих устройств можно, рассмотрев ПЛК ОВЕН100.

Первое, на что стоит обратить внимание, – разделение конструкции на внутреннюю и внешнюю. Внешняя – корпус устройства, внутренняя – плата с управляющей микросхемой, обвязкой и т.д. В корпусе есть множество отверстий под дискретные входы, разъем ethernet, разъем DB9, а также отверстия для индикации (рис.1).



Рис.1. Внешний вид

Сама плата состоит из трех частей – верхней, основной и нижней. На верхней части содержатся такие элементы, как: микросхема ADM3251E, которая обеспечивает гальваническую развязку разъема RS-232, позволяющую защитить оборудование от помех и перенапряжения, а также микроконтроллер PIC16F689, обеспечивающий управление индикацией ПЛК (рис.1).

Основная плата (рис.2) содержит в себе: микропроцессор Atmel AT91RM9200, микросхемы RTL820 для Ethernet соединения, VD1500 485 для работы интерфейса RS-485, TRS3232E для интерфейса RS-232, Adesto1731 – SPI Serial Flash память, микросхема памяти DRAM AS4C2M32SA, разъемы DB9 для интерфейса RS-232, USB [4] и Ethernet.

На нижней плате расположены входные и выходные цепи [5], а также блок питания, который обеспечивает энергией все узлы ПЛК (рис.2)

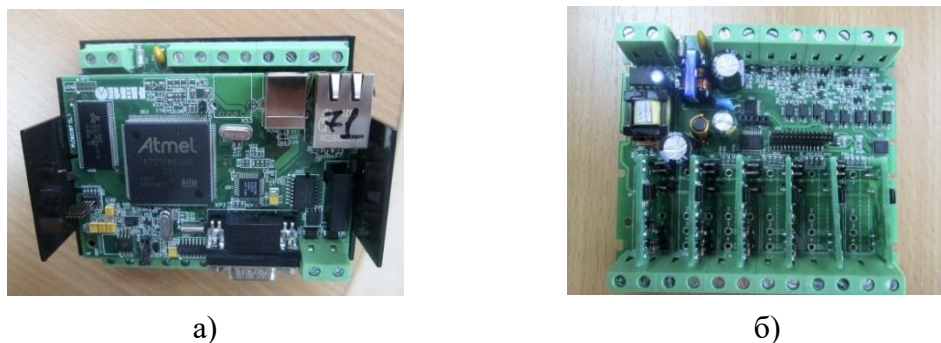


Рис.2. Внутреннее устройство ПЛК

а – основная плата; б – нижняя плата

Анализ устройства ОВЕН ПЛК100 позволяет выделить основные элементы контроллера управления – микропроцессор, элементы для приема/выдачи и обработки входных/выходных сигналов, памяти, питания и индикации. На основании полученных результатов и анализа устройства других контроллеров планируется разработка прототипов собственных устройств управления.

### Источники

1. Аннушкин С.Л. О достижениях, сложностях и перспективах импортозамещения компонентной базы для отечественных промышленных автоматизированных систем управления (АСУ) // Информационные ресурсы России. – 2015. – № 6(148). – С. 15-19. – EDN UXMJDH.

2. Голодков Ю.Э., Ларионова Е.Ю., Демаков В.И. Проблемы импортозамещения компонентной базы промышленных систем автоматизации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 3. – С. 189-196. – EDN RPSNHK.

3. Микропроцессорные регуляторы, программируемые логические контроллеры и др. [Интернет ресурс] URL: [www.owen.ru](http://www.owen.ru)

4. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с: ил.

5. Бойко В.И. и др. Схемотехника электронных систем. Микропроцессоры и микроконтроллеры / Авторы: В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков, А.А. Зори, В.М. Спивак, Т.А. Терещенко, Ю.С. Петергеря. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 464 с: ил.

УДК 64.011.56

## **АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ**

Арсений Владимирович Богданов

Науч. рук. канд. техн. наук Александр Нетфуллович Богданов

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

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена разбору внешних и внутренних изменений в структуре программируемых логических контроллеров, произошедших за последние полвека

**Ключевые слова:** ПЛК, внутреннее устройство ПЛК, первый ПЛК.

## **ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS OVER THE PAST 50 YEARS**

Arseniy V. Bogdanov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Arseniy.bogdanov.97@mail.ru

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of external and internal changes in the structure of industrial logic controllers that have occurred over the past half century

**Keywords:** PLC, internal structure of PLC, the first PLC.

Программируемый логический контроллер является неотъемлемой частью управляющей системы любого производства, сейчас сложно представить хоть одно предприятие без такого устройства. Однако до того, как свет увидел первый в мире ПЛК, все функции управления осуществлялись при помощи огромных релейных сборок, количество реле в которых могло достигать тысяч. С целью оптимизировать управление

процессами, удешевить и уменьшить габариты устройства, которое осуществляет контроль, в 1969 году был разработан первый в мире ПЛК [1] – Modicon 084 (рис.1). Внутри у контроллера было 3 главных блока: процессор, блок памяти и блок обработки релейной логики. Это давало сразу несколько преимуществ: относительно компактный размер, способность выполнять больше операций за единицу времени, а также уменьшенное энергопотребление, 256 входов, 256 выходов и 32 килобайта памяти.



Рис.1. Первый в мире ПЛК

Важным отличием от старых релейных систем стало то, что теперь появилась возможность изменять процесс при помощи компьютера, а не переподключением реле и пересборкой всего шкафа, само программирование контроллера осуществлялось на основе релейной «лестничной» логики.

После успеха 084 модели компания Modicon стала расширяться, производя новые модели ПЛК, на рынок также вышли такие компании, как Square D, General electrics, Allen-Bradley и industrial solid state controls [2].

Уже в 1980х годах некоторые контроллеры стали поддерживать функцию распределенного управления, благодаря чему они могли быть использованы в качестве элемента системы РСУ. Компании продолжали увеличивать функционал устройств.

В 1990х начали появляться компании, разрабатывающие программное обеспечение для ПЛК, также произошла модернизация - использовавшаяся в 80х EPROM-память заменилась на EEPROM и flash память, контроллеры перестают быть массивными и теперь появляются компактные варианты (рис.2), также почти все ПЛК начинают поддерживать коммуникацию через Ethernet. В тех же годах вводится единое требование для систем управления – резервирование.



Рис.2. ПЛК Simatic s5-95u (1994)

Начиная с 2000х программируемые логические контроллеры стремительно развиваются - добавляются новые интерфейсы, расширяется функционал, снижается энергопотребление и уменьшаются размеры самих устройств (рис.3).



Рис.3. ПЛК Siemens S7-1500

Тем не менее разница во внутреннем строении контроллеров [3] в период с 1990-2023 не такая большая – каждый ПЛК имеет микропроцессор [4], микросхемы памяти, микросхемы для обеспечения работы различных интерфейсов [5], разъемы ethernet и db9, а также контакты ввода и вывода. Различаются лишь характеристики тех или иных элементов, их расположение и размер.

В результате анализа развития программируемых логических контроллеров, можно прийти к выводу, что внутренняя архитектура ПЛК кардинально не поменяется. Сохраняя тенденцию к миниатюризации будут изменяться габариты устройства, количество вводных и выводных контактов, а также количество операций, которое ПЛК сможет выполнить за единицу времени.

### **Источники**

1. История ПЛК и РСУ [Интернет ресурс] URL: [https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/98\\_Books/vanessa\\_alfred\\_report\\_ru.pdf](https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/98_Books/vanessa_alfred_report_ru.pdf)

2. История появления и развития программируемых логических контроллеров [Интернет ресурс] URL: <http://digitrode.ru/articles/4160-istoriya-poyavleniya-i-razvitiya-programmiruemyyh-logicheskikh-kontrollerov-plk.html>

3. Внутреннее строение современных ПЛК на примере ОВЕН ПЛК 100 [Интернет ресурс] URL: <https://plcontroller.ru/post/6206/?ysclid=lojqznr54n781585161>

4. Бойко В.И. и др. Схемотехника электронных систем. Микропроцессоры и микроконтроллеры / Авторы: В.И. Бойко, А.Н. Гуржий, В.Я. Жуйков, А.А. Зори, В.М. Спивак, Т.А. Терещенко, Ю.С. Петергеря. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 464 с: ил.

5. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия. – СПб.: Питер, 2002. – 528 с: ил.

УДК 62-69

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕЛИОСИСТЕМА ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЧАСТНОГО ЖИЛИЩА

Аяз Ильнурович Валеев

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

wotaaiaz@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается использование автоматизированной гелиосистемы для энергообеспечения частного жилого помещения. Представлена схема системы отопления с использованием гелиосистемы. Показано, что использование солнечной энергии позволяет снизить использование традиционных источников тепла.

**Ключевые слова:** гелиосистема, автоматическое регулирование, возобновляемые источники энергии, энергообеспечение, жилое помещение.

## AUTOMATED SOLAR SYSTEM FOR ENERGY SUPPLY OF PRIVATE RESIDENCE

Ayaz I. Valeev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

wotaaiaz@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the use of an automated solar system to supply energy to a private residential premises. A diagram of a heating system using a solar system is

presented. It has been shown that the use of solar energy can reduce the use of traditional heat sources.

**Key words:** solar system, minimal regulation, renewable energy sources, energy supply, residential premise.

Повышение эффективности солнечных технологий влечет за собой раскрытие их потенциала. Использование гелиосистем в отопительных системах позволяет уменьшать использование сгораемого топлива, используемого как основной источник энергии частных зданий. Следовательно, доля применения солнечной энергии в быту должна расти из года в год [1]. Поэтому становится актуальной проблема использования автоматизированных гелиосистем в схемах отопления.

Рассмотрим систему отопления с нагревом обратного трубопровода. В данном случае вода, нагретая за счет солнечной энергии, используется в том случае, когда температура в водонагревателе выше температуры обратного трубопровода отопительного контура. Если температура воды в подающем трубопроводе недостаточна, подключается котел. Таким образом, данная система отопления будет являться комбинированной: используется котел и солнечный коллектор [2].

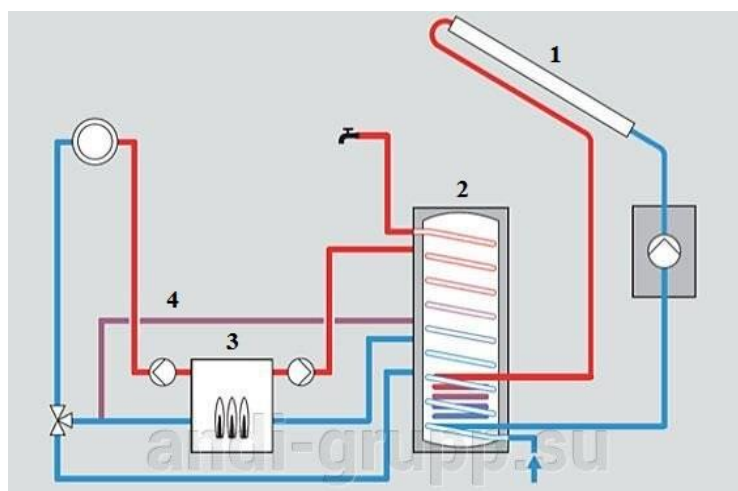


Схема комбинированной системы отопления

На рисунке 1 представлена схема отопления с нагревом обратного трубопровода. Цифрами отмечены: 1 – солнечный коллектор, 2 – бак-аккумулятор, 3 – котел, 4 – обратный трубопровод.

С помощью датчиков температуры происходит выбор источника тепла [3]. Блок автоматизации, использующийся в данной схеме, будет выполнять следующие функции:



1) Защита теплоносителя обогрева от излишнего повышения собственной температуры. Автоматика будет регулировать как энергию, поступающую с коллектора, так и мощность котла [4].

2) Предотвращение перепадов давления внутри оборудования.

3) Контроль объема наполнения котельного бака водой.

4) Контроль давления в отопительном контуре.

5) Контроль отводящих газов.

Следует понимать, что установка гелиосистемы не может полностью заменить традиционное отопление. На территории России, где в зимний период наблюдается сильное снижение температуры окружающей среды, наличие котельного оборудования или электрических радиаторов необходимо [5]. Однако применение солнечной энергии для отопления частных помещений существенно разгружает отопительную систему, делает ее более устойчивой к чрезвычайным ситуациям.

### **Источники**

1. Поулек, В. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии / В. Поулек, М. Либра, Д.С. Стребков, В.В. Харченко. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2013. – 324.

2. Системы и технологии в отоплении: [Электронный ресурс]. URL: <http://sdelatotoplenie.ru/vidy-kombinirovannogo-otopleniya.html> (Дата обращения: 05.11.2023)

3. Стребков, Д.С. Основы солнечной энергетики / Д.С. Стребков; под ред. П.П. Безруких. – М.: САМ Полиграфист, 2019. – 326 с.

4. Пенджиев, А.М. Экспертиза инновационных технологии и использование возобновляемой энергетике / А.М. Пенджиев, А.А. Пенджиев. Инновация в сельском хозяйстве. – 2016. – №5. – С. 46-55.

5. Даус, Ю.В. Анализ потенциала солнечной энергии на территории Ростовской области Российской Федерации / Ю.В. Даус, В.В. Харченко, И.В. Юдаев / Материалы конференции «Энергия Молдовы». – 2016. – С. 482-484.

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МАШИН ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Ильгиз Маратович Газизуллин

Науч. рук. канд. техн. наук Валерий Александрович Данилов

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

ilgizgazizullin@mail.ru

**Аннотация.** В статье описаны основные параметры одноцилиндровых машин для литья под давлением, где процессы пластикации и инъекции разделены. При проектировании литьевых машин определяют ассортимент планируемых к производству деталей, на основании параметров которых находят основные технические характеристики машин.

**Ключевые слова:** объем впрыска, объемная скорость впрыска, давление литья, площадь литья, усилие запираания и раскрытия формы, быстроходность, пластикационная способность.

## BASIC PARAMETERS OF INJECTION MOLDING MACHINES

Gazizullin I. Maratovich

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ilgizgazizullin@mail.ru

**Abstract.** The article describes the main parameters of single-cylinder injection molding machines, where plasticization and injection processes are separated. When designing injection molding machines, the assortment of parts planned for production is determined, based on the parameters of which the main technical characteristics of the machines are found.

**Keywords:** injection volume, volumetric injection rate, molding pressure, molding area, mold closing and opening force, plasticizing capacity.

Основными параметрами литьевых машин являются: объем впрыска за цикл (объем отливки); объемная скорость впрыска; давление литья; площадь литья; усилия запираания; пластикационная способность.

Объем впрыска за цикл или объем отливки – объем расплавленного полимера, который впрыскивается в форму под давлением, определяется исходя из планируемых к производству изделий.

Объемная скорость впрыска - это скорость, с которой расплавленный полимер заполняет пресс-форму. От объемной скорости впрыска зависит структура конечного продукта, а, следовательно, его прочность и однородность [1].

Объемная скорость впрыска должна быть такой, чтобы обеспечить сравнительно небольшое давление литья, так как при слишком большом давлении впрыска есть риск раскрытия пресс-формы, а при малом давлении может образоваться слой охлажденного полимера. Важным условием является постепенное равномерное заполнения формы с постоянной объемной скоростью [2].

$$Q_{en.} = const$$

Давление литья, необходимое для заполнения пресс-формы складывается из потерь давления в рабочих органах машины (инжекционном цилиндре, гидросистеме) и перепада давления в системе [3]:

$$P_{л.} = \Delta P_{м.} + \Delta P_{с-ф}$$

Для изготовления тонкостенных элементов требуется более высокое давление. В большинстве же случаев, давление, при котором получают изделия хорошего качества, часто невелико и для многих полимеров составляет около 25-50 МПа.

Площадь литья – это проекция поверхности детали на плоскость формы. Этот параметр влияет на усилие, необходимое для запираания формы.

На современных литьевых машинах соотношение между площадью литья и площадью плиты между колоннами составляет в среднем 30-60%. Отношение площади литья к общей площади составляет плит примерно 12-25% [4].

Пластикационная способность – это производительность, которую может обеспечить узел впрыска расплавленного полимера массой полимера  $m$  за время пластикации  $t$ :

$$q_{пл.} = \frac{m}{t_{пл.}}$$

Часто реальная продолжительность пластикации ниже расчетной и зависит от времени охлаждения полимера, поэтому этот параметр считается условным.

Усилие запираения формы, необходимое для предотвращения раскрытия формы, рассчитывается по формуле:

$$F = K_{\text{зап.}} P_{\text{ср.}} S ,$$

где  $K_{\text{зап.}}$  – коэффициент запаса, принимается равным 1,1

Расчет усилия запираения производится при максимальном среднем давлении, которое возникает в момент динамического равновесия [5]. Определяется площадью литья и распределением давления в форме. Это усилие должно быть равно силе, возникающей в форме или превышать его. Если это условие не соблюдается, то форма может раскрыться.

#### **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. 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.
5. Olenev, B.A. Design of injection molding for thermoplastics: textbook / B.A. Olenev, E.M. Mordkovich, M.V. Baryshnikova. - M.: Chemistry, 1985. - 342 p.

УДК 621.039

## **АВТОМАТИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ВОДОБОРОТНЫХ СИСТЕМ С ГРАДИРНЯМИ**

Кирилл Алексеевич Гайнцев

Науч. рук. канд. техн. наук Юрий Васильевич Абасев

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

[gaintsev.kirill@yandex.ru](mailto:gaintsev.kirill@yandex.ru)

**Аннотация.** Статья посвящена автоматизации вентиляторных градирен, что позволяет менять режимы работы градирни для повышения КПД всего цикла ТЭС.

**Ключевые слова:** Энергетика, градирнири, энергозависимость, реактор, электроэнергия, энергетический баланс.

## **AUTOMATION OF MODERN WATER CIRCULATION SYSTEMS WITH COOLING TOWERS**

Kirill A. Gaintsev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

gaintsev.kirill@yandex.ru

**Abstract.** The article is devoted to the automation of fan cooling towers, which allows changing the operating modes of the cooling tower to increase the efficiency of the entire cycle of thermal power plants.

**Keywords:** Power engineering, cooling towers, energy dependence, reactor, electricity, energy balance.

В технологической системе предприятий вентиляционные градирни являются важнейшей частью отвода тепловой энергии. Они способствуют уменьшению температуры воды до нужных значений, испарением и тепловым обменом с атмосферой. Можно регулировать параметры водооборота путем изменения скорости вращения вентилятора градирни, исходя из сезонных, метеорологических и технологических факторов. Однако при высоких требованиях к точности стабилизации температуры охлажденной воды необходимо оптимизировать регуляторы АСУ ТП, учитывая различные виды возмущений и принцип декомпозиции при синтезе САР. [1]

Для стабилизации температуры охлажденной воды на уровне  $t_0 = 28^\circ\text{C}$  и построения системы автоматического регулирования скорости вращения вентилятора градирни найдена аналитическая модель  $t_0 = f(\omega)$  процесса охлаждения воды в градирне с учетом всех возмущений. В среде MatLab можно аналитически воспроизводить и моделировать все динамические процессы градирни до реализации алгоритмов на объекте. Аналитическую модель можно получить путем статистической обработки экспериментальных данных, так как возмущения, такие как метеофакторы и напор насосов, имеют выраженный случайный характер. С помощью схемы и модели преобразования сигналов в контуре САР можно

реализовать регрессионные модели и алгоритмы управления электроприводом ПЧ-АД вентилятора и стабилизации температуры охлажденной воды по командам ПК. Для этого требуется получить параметры  $a_j$  линейной модели:

$$\omega_{зад} = a_1 \times \Delta t_{zo} + a_2 \times t + a_3 \times \beta + a_4 \times Q + \varepsilon \quad (1)$$

Расчет данных характеристик на основе статистической обработки экспериментальных наблюдений с использованием числа замеров в диапазоне от 50 до 100 является стандартной практикой. Однако при анализе полученных зависимостей между переменными, таких как  $\omega = f(\beta, t_B)$ , можно заметить, что большинство таких характеристик обладают нелинейным поведением и имеют сходство с функциями  $y = xp$  при  $n > 1$ . Именно поэтому мы представляем регрессионную модель и алгоритм управления в данном виде:

$$\omega_{зад} = A \times (\Delta t_{zo}) \times a \times (t_B) \times b \times (\beta) \times c \times (Q) \times (\varepsilon) \times g \quad (2)$$

Пусть  $A$  – коэффициент, определяющий пропорциональность;  $a, b, c, d, g$  – интенсивности каждого из возмущающих воздействий, включая помехи и неучтённые атмосферные воздействия  $\varepsilon$  (например, интенсивность и направление ветра, суточные изменения давления, наличие и характер осадков). В зависимости от требуемой точности задания скорости вентилятора и поддержания стабильной температуры охлажденной воды используются линейные (точность до 10%) или нелинейные регрессионные алгоритмы. В случае использования нелинейных регрессионных алгоритмов, точность определяется совокупной точностью датчиков и коэффициентов, приведенных в расчетном уравнении. [2]

Для того чтобы проверить адекватность взаимодействия, разработанного аппаратного и программного обеспечения АСУТП водопроводной системы с градирнями вентилятора, рекомендуется применять компьютерную модель в среде MATLAB 6.5. физическое макетирование малого мощности системы [3]. Моделирование технологических процессов следует проводить в пакете Simulink[4]. Необходимо соблюдать проектные значения параметров каналов управления ПЧ-АД и обратной связи по температуре воды. Для имитации возмущений на работу градирни, можно ввести два функциональных блока преобразований, которые будут изменять температуру воды при

изменении метеорологических и технологических условий испарительного охлаждения в градирне. В ходе исследования был получен достаточный объем результатов, подтверждающих корректность реализации проекта. Данные результаты в совокупности с исследованиями на макете электропривода мощностью 300 Вт позволяют подтвердить эффективность и адекватность разработанного проекта. [5]

### **Источники**

1. Киянов Н.В. От электромонтажных работ до систем комплексной автоматизации // Новости приводной техники. 2006. № 12. С. 1.
2. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справ. пособие / Под общ. ред. В.С. Пономаренко. — М. : Энергоатомиздат, 1998. — 376 с.
3. Дьяконов В. П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил.
4. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМКПресс, 2008. – 784 с.: ил.
5. Кабдин Н.Е. Электропривод: учебник / Н.Е. Кабдин, В.Ф. Сторчевой. – М.: МЭСХ, 2021. – 286 с.

УДК 628.1

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В РОССИИ**

Ринат Рашидович Гатауллин

Науч. рук. к.т.н. доц. Александр Нетфуллович Богданов

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

qerb445@gmail.com

**Аннотация.** Автоматизация водоснабжения является важным аспектом обеспечения комфортной жизни населения и эффективного использования ресурсов. Однако, в России существуют ряд проблем, которые затрудняют развитие и внедрение современной автоматизации в этой сфере. В данной статье мы рассмотрим актуальные проблемы и их решения в автоматизации водоснабжения.

**Ключевые слова:** автоматизация, водоснабжение, мониторинг, эффективность, управление, технологии, модернизация.

# TOPICAL PROBLEMS OF WATER SUPPLY AUTOMATION IN RUSSIA

Rinat R. Gataullin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

qerb445@gmail.com

**Abstract.** Automation of water supply is an important aspect of ensuring comfortable life of the population and efficient use of resources. However, in Russia there are a number of problems that hinder the development and implementation of modern automation in this sphere. In this article we will consider the current problems and their solutions in water supply automation.

**Keywords:** automation, water supply, monitoring, efficiency, control, technology, modernization.

Водоснабжение является важнейшей инфраструктурной системой, обеспечивающей комфортную жизнь населения. Однако, несмотря на значительные достижения в этой области, автоматизация водоснабжения в России до сих пор сталкивается с рядом проблем.

Одной из главных проблем является устаревшее оборудование и технологии. Многие системы водоснабжения были построены десятилетия назад и не соответствуют современным требованиям эффективности и надежности. Устаревшее оборудование и технологии приводят к неэффективному использованию ресурсов, утечкам и перебоям в подаче воды. В результате многие регионы России испытывают проблемы с недостатком воды или ее некачественной подачей [1].

Еще одной проблемой является недостаток квалифицированных специалистов. Автоматизация водоснабжения требует наличия высококвалифицированных инженеров и технического персонала, способных разрабатывать и поддерживать современные системы. Однако в России наблюдается дефицит таких специалистов, что затрудняет внедрение новых технологий и современных систем управления [2]. Отсутствие единой системы мониторинга и управления также является проблемой. Многие системы водоснабжения в России не связаны между собой и не имеют общего центра управления. Это приводит к трудностям в координации работы систем и затрудняет оперативное реагирование на аварийные ситуации [3].

Для решения этих проблем необходимо проведение комплексных мероприятий. Во-первых, необходимо провести модернизацию устаревших



систем водоснабжения, внедрить современные технологии и оборудование. Использование системы автоматического контроля и управления позволит эффективно использовать ресурсы и предотвращать утечки. Во-вторых, необходимо разработать и внедрить единую систему мониторинга и управления, которая позволит оперативно реагировать на проблемы и эффективно использовать ресурсы. Создание центра управления, который будет координировать работу различных систем водоснабжения, является важным шагом в этом направлении [4]. В-третьих, необходимо улучшить образовательную программу для подготовки квалифицированных специалистов в области автоматизации водоснабжения. Развитие специализированных программ обучения для инженеров и технического персонала позволит устранить дефицит квалифицированных специалистов [5].

В заключение, актуальные проблемы автоматизации водоснабжения в России связаны с устаревшим оборудованием и технологиями, недостатком квалифицированных специалистов, отсутствием единой системы мониторинга и управления, а также проблемами финансирования. Для их решения необходимо проведение комплексных мероприятий, направленных на модернизацию систем водоснабжения, внедрение современных технологий, разработку единой системы мониторинга и управления и улучшение образовательной программы. Это позволит повысить эффективность и надежность систем водоснабжения в России, а также обеспечить комфортную жизнь населения.

### **Источники**

1. Смирнов А.А., Чернов В.С., Гусев А.А. Проблемы и перспективы автоматизации систем водоснабжения. 2017. № 4. С. 108-118.
2. Королев А.В., Лаврентьева Н.В. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения: проблемы и перспективы. 2018. Вып. 2(38). С. 66-75.
3. Антонов А.В., Карпов И.В., Киселев В.И., Шеин Я.В. Проблемы автоматизации водоснабжения и водоотведения в России. 2016. № 1(9). С. 46-49.
4. Шувалов А.В., Проблемы автоматизации водоснабжения в России и пути их решения. 2018. Т. 22. № 6(137). С. 109-114.
5. Лебедева Т.В., Лаптева М.А., Чернов В.С., Гусев А.А. Проблемы автоматизации систем водоснабжения в России и пути их решения. 2019. Вып. 3(66). С. 48-55.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И ДЫМОУДАЛЕНИЯ

Даниил Булатович Абзалов <sup>1</sup>, Валерий Юрьевич Горбов <sup>2</sup>

Науч. рук. кандидат технических наук Наталия Владимировна Богданова

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

<sup>1</sup>esports\_707@mail.ru, <sup>2</sup>valera322gg@gmail.com

**Аннотация.** Системы дымоудаления и вентиляции должны быть грамотно спроектированы. Сравнительный анализ двух разных по функционалу систем позволит выделить параметры, которые следует учитывать при их разработке.

**Ключевые слова:** дымоудаление, вентиляция, безопасность, система, помещение.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF VENTILATION AND SMOKE EXHAUST SYSTEMS

Daniil B. Abzalov <sup>1</sup>, Valery Yu. Gorbov <sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>esports\_707@mail.ru, <sup>2</sup>valera322gg@gmail.com

**Abstract.** Smoke removal and ventilation systems must be properly designed. A comparative analysis of two systems with different functionality will highlight the parameters that should be taken into account when developing them.

**Keywords:** smoke removal, ventilation, safety, system, room.

Системы вентиляции и дымоудаления имеют разные функции и цели, но их сравнительный анализ может помочь лучше понять их различия и важность в зданиях и сооружениях [1]. Вот сравнительный анализ этих двух систем:

### 1. Цель:

- Система вентиляции предназначена для обеспечения комфорта и качества воздуха в помещении путем циркуляции свежего воздуха и удаления загрязнений.
- Система дымоудаления целит в обеспечение безопасной эвакуации людей и предотвращение распространения дыма в случае пожара [2].

## 2. Принцип работы:

- Система вентиляции работает непрерывно и поддерживает постоянное обеспечение воздухом в помещении [3].
- Система дымоудаления активируется в случае обнаружения дыма и работает для удаления дыма и токсичных газов из здания при помощи постоянной подачи воздуха для компенсации удаляемого загрязненного воздуха [4].

Принцип работ данных систем связан с поддержанием чистого воздуха в помещении. Однако, данные системы не могут быть включены в одну общую систему для более эффективной работы (в области воздуховодов), они выполняют разные функции и требуют различных компонентов и настроек.

## 3. Оборудование:

- В системе вентиляции используются вентиляторы, фильтры, воздуховоды и регуляторы для обеспечения воздушного обмена и комфорта.
- Система дымоудаления включает в себя дымовые датчики, мощные вентиляторы, открыватели дверей и окон, а также дымовые шлюзы.

## 4. Эффективность:

- Система вентиляции обеспечивает комфортные условия в помещении, но не предназначена для обеспечения безопасности в случае пожара.
- Система дымоудаления обеспечивает безопасность путем эвакуации дыма и токсичных газов, спасая жизни в случае пожара.

## 5. Управление:

- Система вентиляции обычно управляется автоматически или вручную для поддержания заданных параметров воздуха.
- Система дымоудаления активируется автоматически при обнаружении дыма и может также управляться вручную.

## 6. Регулирование:

- Вентиляция регулируется с учетом температуры, влажности и CO<sub>2</sub>-концентрации для поддержания комфортных условий [5].
- Дымоудаление активируется при обнаружении дыма и может работать при высоких температурах в случае пожара.

## 7. Обслуживание:

- Система вентиляции требует регулярного обслуживания, включая очистку и замену фильтров.

- Система дымоудаления должна периодически проверяться и испытываться, чтобы гарантировать ее надежную работу в экстренных ситуациях.

Таким образом, сравнительный анализ системы вентиляции и дымоудаления помогает понять, как они различаются по своим целям, функциям и компонентам, и как их совместное использование может обеспечить комфорт и безопасность в зданиях.

### **Источники**

1. Федоров Ю. Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка: учебно-практическое пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2008.

2. Рябова В.И., Андреев А.А. Система дымоудаления в многоквартирном доме. // Научные горизонты. 2019 № 9. С. 184-188.

3. Горбов В. Ю. усовершенствование вентиляционных установок общественного назначения // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : материалы конференции: [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2022. Т. 2. С. 291-293.

4. Абзалов Д. Б. Автоматизация управления системой дымоудаления // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика: материалы конференции: [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2022. Т. 2. С. 275-276.

5. Ситников Н.Р. Оптимизация систем вентиляции различными способами. // Научный электронный журнал «Оригинальные исследования». 2020. С. 10-19.

УДК 681.5

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПАРИЛЬНОМ ПОМЕЩЕНИИ БАНИ**

Гузель Фанзилевна Идрисова

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Марат Абдулбариевич Сафин

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

guzelidrisova15525@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена автоматизации парильного помещения бани, описанию её функциональной схемы и рассмотрению каждого элемента системы. Система состоит из датчиков, регистрирующих различные микроклиматические параметры бани, исполнительных устройств и контроллера с сенсорной web-панелью для задания желаемых условий. Данное решение отличается обеспечением высокой безопасности и значительной пользы для здоровья человека.

**Ключевые слова:** автоматизация, микроклиматические параметры бани, датчики, исполнительные устройства, контроллер, повышение безопасности, оптимизация процессов управления.

## **SYSTEM FOR CONTROLLING AND MAINTAINING OPTIMAL MICROCLIMATIC CONDITIONS IN THE STEAM ROOM OF THE BATHHOUSE**

Guzel F. Idrisova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

guzelidrisova15525@gmail.com

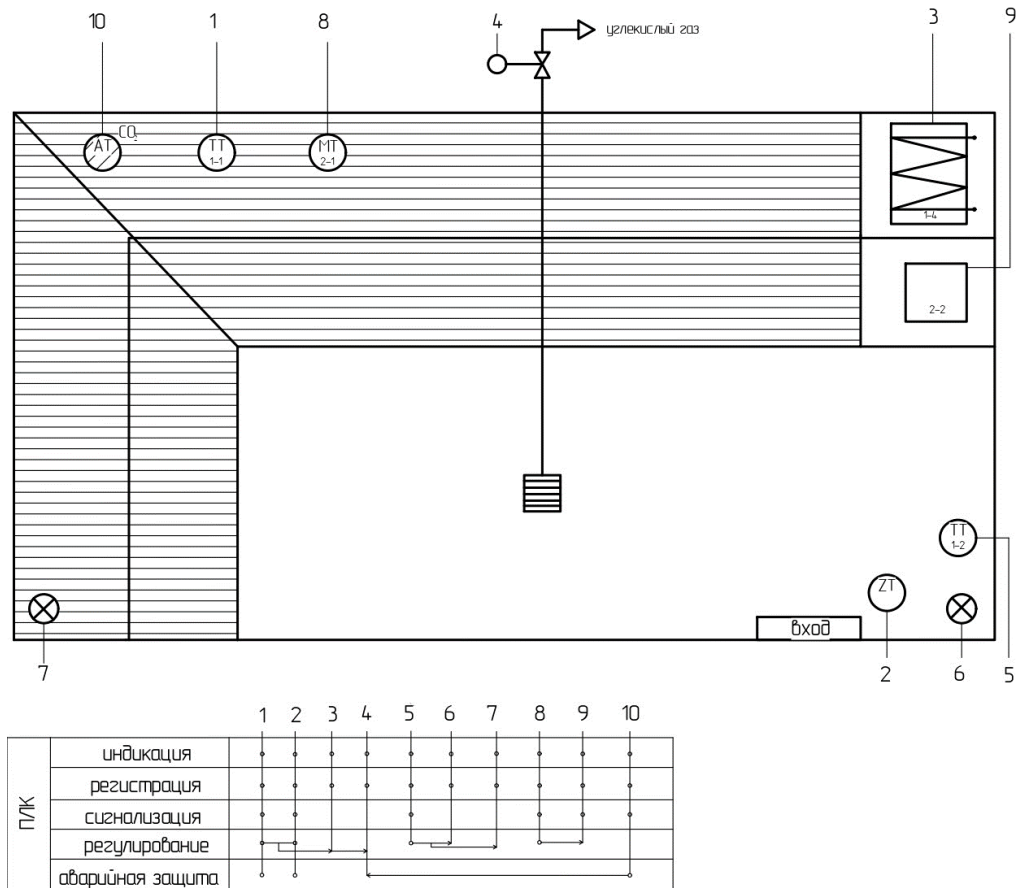
**Abstract.** The article is devoted to the automation of the steam room of a bathhouse, a description of its functional diagram and consideration of each element of the system from the point of view of their functionality and design features. The system consists of sensors that record various microclimatic parameters of the bath, actuators and a controller with a web touch panel for setting the desired conditions. This solution is characterized by high safety and significant benefits for human health.

**Keywords:** automation, microclimatic parameters of the bath, sensors, actuators, controller, increased safety, optimization of control processes.

В современном мире автоматизация процессов становится все более важной и широко используемой. В каждой отрасли промышленности существуют свои собственные системы и инструменты автоматизации, которые помогают увеличить производительность, оптимизировать управление, обеспечить безопасность и упростить труд. Применение автоматизации также затрагивает сферы быта и хозяйства. Известно, что количество «умных» домов в России на сегодняшний день составляет около 3 млн. или 18% процентов от всех домохозяйств [1]. Однако системы «умной» бани не так широко изучены и представлены на рынке, вследствие чего их внедрение и использование минимально. В данной статье будет представлена автоматизация парильного помещения бани.

Автоматизация банного помещения осуществляется с помощью следующих устройств: электрическая печь с ТЭНами, парогенератор, два датчика температуры, датчик влажности, датчик движения, две лампы, устройство управления и панель управления [2].

На рисунке изображена функциональная схема автоматизации парильного помещения бани (вид сверху).



Функциональная схема автоматизации парильного помещения бани

На рисунке изображены датчики и исполнительные устройства автоматической системы контроля и регулирования микроклиматических параметров парильного помещения бани. Автоматизированы были четыре параметра: температура, влажность, освещение и концентрация углекислого газа.

Контроль температуры осуществляется с помощью двух датчиков температуры, электрической печи на основе трубчатых электронагревателей (ТЭНов) и вентиляционного канала. Один датчик температуры располагается на входе в парильное помещение, а другой – в самой горячей точке [3].

Показания температур суммируются, вычисляется их среднее значение, и вследствие формируется компенсирующее воздействие: при низкой температуре в помещении регулятор увеличивает мощность на ТЭНах, а при высокой - включает вентиляцию.

Для контроля влажности используются датчик влажности и парогенератор. Существует возможность управлять парогенератором вручную и отключить автоматическое регулирование влажности с помощью контроллера. В зависимости от заданного значения влажности, парогенератор выдаст необходимое количество пара [4].

Освещение автоматизировано с помощью одного датчика движения. В зависимости от наличия людей в помещении, датчик отправляет сигнал на контроллер для включения или выключения освещения.

Безопасность обеспечивается наличием датчика концентрации углекислого газа в помещении. При превышении установленного значения, датчик передает сигнал на контроллер, который активирует принудительную вентиляцию с помощью вентиляционного канала и сигнализирует о возникновении аварийной ситуации [5].

Таким образом, в данной статье предложена автоматическая система контроля и регулирования парильного помещения бани, основное достоинство которой заключается в возможности задания различных условий для комфортного пребывания [6]. Предложенная система выполняет главную задачу – обеспечение безопасности людей, находящихся в помещении, осуществляющаяся в первую очередь по количеству углекислого газа, а во вторую – по автоматике, которая предупредит о тех или иных сбоях, осуществит защиту, блокировку исполнительных устройств, например, отключение электрической печи в случае перегрева или парогенератора в случае отсутствия воды.

### **Источники**

1. Рогачев А.В. Умные дома и автоматизация бани. Москва: Изд-во "Эксмо", 2019. 200 с.

2. Умная сауна: автоматизация сауны, удалённое управление // Future2day URL: <https://future2day.ru/kak-upravlyat-umnoj-banej/> (дата обращения 01.11.2023).

3. Кузнецова А.Н., Савельева Н.В. Современные технологии автоматизации и управления баней. Москва: Ведущие технологии, 2020. 140 с.

4. Бакланов А.В., Мартынова С.П. Современные технологии автоматизации и управления парогенераторами бани. Москва: ЛитРес, 2019. 160 с.

5. Антоненко И.П. Автоматизация систем отопления и вентиляции бани. Москва: ФГУП "НИИТЭП", 2014. 160 с.

6. Сидоренко И.В. Интеллектуальные системы управления бани. Москва: Университет "Иннополис", 2017. 120 с.

УДК 681.516.52

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ АВТОТРАНСПОРТА

Азамат Русланович Кинзябулатов

Науч. рук. Алия Салаватовна Марченко

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

mr.azamat2112@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены системы управления автотранспортом, применяемые автопроизводителем Volvo, в своих легковых и грузовых автомобилях. Представлены виды их систем, их внутреннее устройство. Предоставлены причины для внедрения подобных технологий на дороги Российской Федерации, и выдвинуто предположение на сколько сможет снизить ДТП в РФ.

**Ключевые слова:** система, адаптивный круиз контроль, система оповещения при перестроении, система предупреждения водителя, система мониторинга слепых зон, система предупреждения о столкновении с функцией экстренного торможения.

## VEHICLE CONTROL AND MONITORING SYSTEMS

Azamat R. Kinzybulatov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

mr.azamat2112@mail.ru

**Abstract.** The article discusses vehicle control systems used by the automaker Volvo in its cars and trucks. The types of their systems and their internal structure are presented. The reasons for the introduction of such technologies on the roads of the Russian Federation are provided, and an assumption is made about how much it can reduce road accidents in the Russian Federation.



**Keywords:** system, adaptive cruise control, lane change warning system, driver warning system, blind spot monitoring system, collision warning system with emergency braking function.

Легковой и грузовой автотранспорт применяется везде: от небольших поездок, до масштабных грузоперевозок. Однако из-за не соблюдения ПДД, переработок, невнимательности, малого опыта вождения, халатного отношения водителей во всем мире каждый день происходят ДТП с ранеными и погибшими. Каждая страна борется с этим, устанавливая разные камеры, отправляя на дороги ДПС и переписывая ПДД так, чтобы понизить риски возникновения аварий. Но не за всеми причинами ДТП можно уследить, поэтому автопроизводители совершенствуют свои транспортные средства, улучшая пассивную и активную безопасность. Компанию, которую я решил рассмотреть – Volvo.

Системы управления и контроля, которые используются в автомобилях Volvo, основаны на камерах и радиолокационных датчиках, которые оценивают местность.

Системы контроля:

- Система предупреждения водителя (DAS) – следит за утомляемостью водителя, оценивая его реакцию, поведение и аккуратность вождения, если система обнаружит сонливость или низкую внимательность, она предупреждает водителя и предлагает сделать перерыв;

- Система Alcolock – не допускает запуск двигателя, если водитель находится в алкогольном состоянии, после проверки при помощи алкотестера [1-2].

Системы управления:

- Система мониторинга слепых зон (BLIS) – следит за слепыми зонами автомобиля. При обнаружении опасности предупреждает световым и шумовым сигналом со стороны приближающегося объекта, при необходимости может помочь водителю в управлении;

- Система адаптивного круиз-контроля (ACC) – в плотном потоке регулирует скорость автомобиля, в частом случае грузовика, так, чтобы оно соответствовало потоку, при этом сохраняет расстояние предстоящим автотранспортом, установленное водителем;

- Система предупреждения о столкновении с функцией экстренного торможения (CW-EB) – система в начале предупреждает водителя о возможности столкновения, если же человек, не отреагировал, система

самостоятельно начинает торможение, чтобы предотвратить аварию или уменьшить её ущерб;

– Система оповещения при перестроении (LKS) – в первом случае система предупреждает водителя, в случае выезда с полосы. А во втором, если водитель не отключил автоматику, помогает с управлением, сохраняя полосу движения. [1-3]

Надо учитывать, что системы управления, приведенные выше: ACC, BLIS, LKS - только помогают в вождении, немного корректируют движение, а не полностью заменяют человека.

В России каждый год из-за ДТП погибают более 14 тыс. людей, а на 2022 год по данным МВД в РФ произошло 126 705 ДТП, в которых погибло 14 172 человека, при этом из-за нетрезвого состояния водителя совершилось 10 812 ДТП с 3187 погибшими, а из-за выезда на встречную полосу 10 854, в данных ДТП погибло 3 511 человек и раненных 18 803.

Рассматривая виды ДТП, основная часть приходится на нарушения ПДД: 111 178 дорожно-транспортных происшествий, это около 87,8% от всех ДТП. При этом около 28,3% от всех ДТП - наезд на пешеходов, 8,5% из-за нетрезвого состояния водителя и 8.6% из-за выезда на встречную полосу. Однако 21,7% погибших приходится на вождении в нетрезвом состоянии. Это большое число погибших можно было уменьшить, если бы водители не садились за руль в состоянии алкогольного опьянения [4].

Из-за невнимательности могут возникать опасности на дороге, чаще оно вызвано из-за недосыпа человека. Например, наезд на пешеходов можно было избежать, если водитель не потерял бдительность или до этого хорошо отдохнул. Исследование AAA Foundation for Traffic Safety, посвященное анализу поведения водителя при вождении в полусонном состоянии, утверждает, что вероятность попадания водителя в ДТП со сном менее 4 часов увеличивается в 11,5 раза, от 4-5 часов – в 4,3 раза, от 5-6 часов – в 1,3 раза, что показывает, насколько важен фактор утомляемости [5].

Вывод: Рассматривая данные факты, я предполагаю, что в автомобили, которые ездят у нас на дорогах, должны иметься аналоги систем Volvo: DAS, LKS, BLIS, CW-EB и Alcolock. По моим предположениям, эти системы понизят ДТП на 15-20% и сделают каждую поездку безопаснее.

## Источники

1. Дилер Volvo в России: официальный сайт. – Казань. – URL: <https://www.volvocars.com/ru/v/cars/xc90-hybrid> (дата обращения: 31.10.2023).
2. Грузовик пресс: официальный сайт. – URL: <https://www.gruzovikpress.ru/article/20529-sistemy-bezopasnosti-volvo-trucks-gluhaya-zashchita-na-rossiyskoy-doroge/> (дата обращения 31.10.2023).
3. Дилер Volvo Trucks в России: официальный сайт. – Казань. – URL: <https://www.volvotrucks.com/ru-kz/trucks/features/driver-support-systems.html> (дата обращения 31.10.2023).
4. Статистика ГИБДД: официальный сайт. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения 29.10.2023).
5. AAA Foundation for Traffic Safety: официальный сайт. – URL: <https://aaafoundation.org/prevalence-drowsy-driving-crashes-estimates-large-scale-naturalistic-driving-study/> (дата обращения 31.10.2023)

УДК 004.418

## НАСТРОЙКА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ПРОТОКОЛУ MODBUS RTU В CODESYS 3.5 В АСУ

Адэля Мавлетовна Муратова

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ильдар Мирсяфович Сафаров

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

[adelamuratova59@gmail.com](mailto:adelamuratova59@gmail.com)

**Аннотация.** В статье приведена последовательность действий для настройки передачи данных по протоколу Modbus RTU в CODESYS 3.5 в АСУ. Мы создали дерево устройств Modbus, состоящее из “ведущего” и “ведомого” устройств. Установили параметры для каждого из них для корректной связи в нашем ПЛК.

**Ключевые слова:** Modbus RTU, ПЛК, устройство, настройка, данные.

## CONFIGURING DATA TRANSMISSION VIA MODBUS RTU PROTOCOL IN CODESYS 3.5 TO THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM

Adelya M. Muratova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[adelamuratova59@gmail.com](mailto:adelamuratova59@gmail.com)

**Abstract.** The article provides a sequence of actions for configuring data transmission via the Modbus RTU protocol in CODESYS 3.5 to the automated control system. We have created a Modbus device tree consisting of a “master” and a “slave” device. We have set parameters for each of them for correct communication in our PLC.

**Keywords:** Modbus RTU, PLC, device, setup, data.

Современные системы автоматического управления разрабатываются с обязательным условием передачи, обработки и хранения данных с исполнительных устройств, датчиков и другого оборудования, участвующего в технологическом процессе. В настоящее время перед инженерами представлен широкий выбор способов организации дистанционной передачи сигналов с устройств, находящихся в труднодоступных и отдаленных местах.

Непосредственная связь оборудования с программируемым логическим устройством на информационном уровне реализуется унифицированными протоколами передачи данных в промышленных сетях. В статье мы рассмотрим алгоритм настройки передачи данных в автоматизированной системе управления по протоколу Modbus RTU в инструментальном программном комплексе CODESYS 3.5. Элементы сети Modbus взаимодействуют, используя клиент-серверную модель, основанную на транзакциях, состоящих из запроса и ответа [1].

Преимущества этого протокола заключаются в простоте и открытости, в добавок он поддерживает передачу различных типов данных.

Протокол ModBus предполагает использование адресов ведомых устройств в диапазоне 1- 247 [2]. Мы будем использовать ПЛК в качестве “ведущего” устройства: он будет опрашивать “ведомые” устройства, то есть получать от них данные.

Для настройки интерфейса ПЛК в режиме “ведущий” выполним следующие действия:

1. В уже созданном проекте нажимаем правой кнопкой мыши (ПКМ) по вкладке Device и добавляем устройство Modbus\_COM, набирая в поиске это название;

3. После указываем COM порт нашего ПЛК, остальные настройки оставляем без изменений (скорость передачи - 9600, четность - NONE);

4. На появившееся устройство Modbus\_COM также нажимаем ПКМ и добавляем Modbus Master, в настройке которого указываем

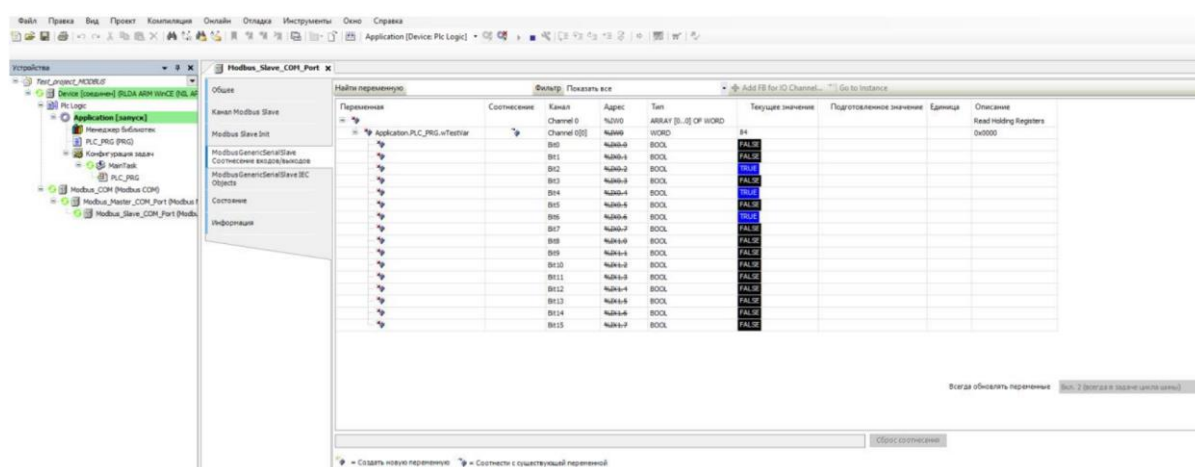
“Автоперезапуск соединения” (при отсутствии галочки, не ответившее Slave-устройство исключается из дальнейшего опроса [3]);

5. Аналогично добавляем Modbus Slave, но через устройство Master.

Далее требуется добавить канал и настроить его параметры для нашего Slave-устройства. Также во вкладке ModbusGenericSerialSlave> Соотнесение входов/выходов для необходимых каналов задать с помощью Ассистента ввода переменные, которые должны использоваться в коде прикладной программы, а также установить параметр “Всегда обновлять переменные установить Вкл.2” [4].

На рисунке 1 показан запуск ПЛК, настроенного нами на Modbus RTU Master.

Таким образом, в процессе настройки связи ПЛК с различным оборудованием в АСУ требуется знать принцип работы, выбранного протокола соединения, и способы реализации обмена данными по нему, а также особенности среды программирования. В нашем случае промышленный протокол Modbus RTU имеет свои достоинства, но также и недостатки такие как: возможность искажения данных во время их передачи [5].



Запуск ПЛК, настроенного в режиме Modbus RTU Master

## Источники

1. Абрамов, Л. О. Исследование и создание системы мониторинга параметров технологического оборудования с применением облачного программного обеспечения и нереляционных баз данных / Л. О. Абрамов // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО : Материалы XLVI научной и учебно-методической конференции, Санкт-

Санкт-Петербург, 31 января – 03 2017 года. Том 5. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017. – С. 4-7.

2. Козлов, А. Д. Разработка системы автоматического освещения производства / А. Д. Козлов // Физико-техническая информатика (СРТ2023) : Материалы Международной конференции, Пушино, 16–19 мая 2023 года. – Нижний Новгород: Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий "Научно-исследовательский центр физико-технической информатики", 2023. – С. 242-249.

3. OWEN: сайт. – URL: [https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/11\\_Documentation/03\\_3.5.11.5/CDSv3.5\\_Modbus\\_v3.2.pdf](https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/11_Documentation/03_3.5.11.5/CDSv3.5_Modbus_v3.2.pdf) (дата обращения: 06.11.2023).

4. OWEN: сайт. – URL: [https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/11\\_Documentation/03\\_3.5.11.5/CDSv3.5\\_FirstStart\\_v3.0.pdf](https://ftp.owen.ru/CoDeSys3/11_Documentation/03_3.5.11.5/CDSv3.5_FirstStart_v3.0.pdf) (дата обращения: 06.11.2023).

5. Ефимова, Ю. В. Визуализация технологического процесса с передачей параметров по протоколу Modbus / Ю. В. Ефимова // Вестник молодёжной науки России. – 2019. – № 5. – С. 12. – EDN WKWVRX.

УДК: 621.314

## **ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ**

Александра Михаловна Пирогова

Науч. рук. ст.пр. Гульсина Мударисовна Сафиуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[alexndra200204@gmail.com](mailto:alexndra200204@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье исследованы основные аспекты цифровой трансформации в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК). Анализируется влияние цифровых технологий на отрасль, в особенности на нефтяной, угольный и электроэнергетический секторы, обсуждаются мировые и российские приоритеты в цифровой трансформации ТЭК. Исследована статистика Минэнерго уже имеющихся результатов цифровизации в России. Статья выделяет вызовы и барьеры, с которыми сталкиваются энергетические компании, а также оценивает перспективы успешной реализации цифровой трансформации в России.

**Ключевые слова:** умные сети, цифровая шахта, энергоэффективность, оптимизация производства, повышение энергообеспеченности, отраслевые меры поддержки, привлечение инвестиций, научно-техническая политика

## **DIGITIZATION IN THE FUEL AND ENERGY COMPLEX: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES**

Alexndra M. Pirogova  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
alexndra200204@gmail.com

**Abstract.** This article explores the key aspects of digital transformation in the fuel and energy complex (FEC). It analyzes the impact of digital technologies on the industry, with a particular focus on the oil, coal, and electricity sectors. The article discusses global and Russian priorities in the digital transformation of the FEC. It examines the statistics from the Ministry of Energy on the existing results of digitization in Russia. The article identifies the challenges and barriers faced by energy companies and evaluates the prospects for the successful implementation of digital transformation in Russia.

**Keywords:** smart grids, digital mine, energy efficiency, production optimization, increased energy security, industry support measures, investment attraction, scientific and technical policy.

Цифровые технологии революционизируют экономику и бизнес, повышая эффективность и конкурентоспособность. Они изменяют способ взаимодействия с клиентами и ценность цифровых активов, заняв крупную долю рынка.

Внедрение цифровых моделей бизнеса различается по отраслям. Финансовая сфера и ритейл давно используют их, усилив это во времена пандемии. В более традиционных секторах требуются как технологические, так и организационные изменения.

Несмотря на разнообразие внедрения цифровых технологий, их важность для экономического развития признают во всех отраслях [1]. Даже в технологически консервативных секторах цифровая трансформация стала обязательной. В разных странах внедрены отраслевые стратегии цифровой трансформации с поддержкой государства, что способствует инновациям. Например, в Великобритании катапульт-центры предоставляют инфраструктуру для тестирования новых технологий и содействуют сотрудничеству на всех этапах цифровых продуктов и услуг.

Цифровизация ТЭК приносит эффективность и гибкость в условиях растущей конкуренции и строже регулируемой экологии. Разные сегменты ТЭК применяют уникальные цифровые решения, включая виртуальные исследования и 3D-моделирование для разведки ресурсов в нефтегазовой отрасли. Угольная промышленность оптимизирует производство с помощью цифровых методов, таких как мониторинг с помощью Wi-Fi и геолокации. Цифровая трансформация в электроэнергетике направлена на повышение надежности и снижение цен с помощью умных сетей, платформ обработки данных и цифровых подстанций. Цифровизация усиливает тренды децентрализации и интеграции "зеленой" энергии, а потребители играют важную роль.

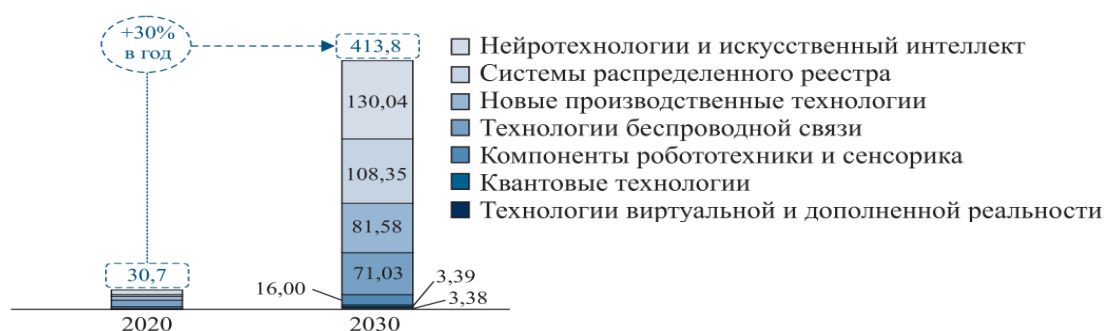
Цифровизация ТЭК призвана улучшить конкурентоспособность, увеличивая добычу, снижая затраты и повышая безопасность. По информации Минэнерго за период с 2018 по 2020 года электроэнергетика сократила капиталовложения на 4-5%, а операционные расходы на 2-7%. Этот процесс снижает продолжительность перерывов электроснабжения на 5% и уровень аварийности на 20%. В нефтегазовой сфере, оценивается снижение себестоимости на умных месторождениях от 7-10% до 20% за счет оптимизации и улучшения технологического режима. "Цифровая шахта" в угольной промышленности позволяет повысить добычу и безопасность горных работ [1]. Единая система сбора данных предотвращает внештатные ситуации, а предиктивный анализ сокращает операционные расходы на 10%.

Рассмотрим основные тренды цифровизации в России и мире. Мировые лидеры в сфере энергетики активно внедряют цифровые решения, переходя к полной цифровой трансформации [2]. Этот процесс охватывает все этапы энергетической цепочки, включая прогнозирование, моделирование, дизайн оборудования, управление инфраструктурой и развитие кадрового потенциала. Важной частью этой трансформации является установка новых "умных" счетчиков, охвативших уже 60% домохозяйств к 2028 году. Эти счетчики требуют регулярного обновления и являются ключевой составляющей глобальной концепции Интернета энергии.

Цифровая трансформация также включает в себя декарбонизацию, расширение децентрализованных энергосистем и предоставление новых цифровых сервисов. Инновационные решения, такие как машинное обучение, технологии распределенных реестров и цифровые торговые платформы, активно применяются для повышения эффективности и надежности энергетических систем [3, 4]. В этом процессе активно



участвуют различные субъекты, включая потребителей, поставщиков и партнеров. Одним из глобальных трендов, который также начинает развиваться в России, является объединение энергетических компаний с предприятиями из других отраслей для создания инновационных цифровых решений, включая сферу предоставления и оплаты услуг энергоснабжения. В электроэнергетике активно разрабатываются платформенные решения, которые способствуют этому взаимодействию. Особое внимание уделяется надежности цифровых решений, так как от этого зависит безопасность энергетических объектов и надежность энергоснабжения. Согласно анализу ИСИЭЗ НИУ ВШЭ, ТЭК в 2020 году потребовал цифровых инноваций на сумму 30,7 млрд рублей, и этот объем может вырасти в 13,5 раза, достигнув 413,8 млрд рублей к 2030 году [6,7]. Среди важных цифровых технологий, которые будут востребованы в этой отрасли, можно выделить искусственный интеллект, распределенные реестры и новейшие производственные технологии, включая беспроводную связь (см. рисунок).



Спрос на передовые цифровые технологии в ТЭК в 2020 и 2030 гг., млрд руб.

Проанализируем вызовы, ожидающие ТЭК РФ при цифровизации, и возможности, которые открываются в этом секторе для нашего государства. В рамках стратегического планирования в ТЭК России фокус делается на цифровой трансформации, предназначенной для поддержки энергетических потребностей страны. По словам Правительства РФ, целью является интеллектуализация отрасли с использованием передовых цифровых решений, а также снижение зависимости от импорта через разработку внутренних цифровых технологий для энергетического сектора.

Государственные приоритеты включают создание универсальной цифровой платформы для учета и контроля энергоресурсов, модернизацию генерирующих мощностей, а также разработку стратегии для сетей связи и обработки данных, учитывающей развитие энергетической

инфраструктуры. Цифровое развитие ТЭК имеет свои особенности в различных секторах, таких как нефть и газ, угольная промышленность и электроэнергетика. Основной акцент - создание условий для развития цифровых сервисов и платформенных решений для всей отрасли. Ключевые направления, как утверждает Минэнерго России, включают координацию цифровой трансформации, подготовку кадров и организацию надзора в секторах ТЭК [5].

Цифровая трансформация в российской энергетике нацелена на повышение эффективности и снижение аварийности. Всемирный тренд - переход к возобновляемой энергии. Однако Россия сильно ограничена множеством препятствий, включая несовершенную координацию, нормативные ограничения и дефицит квалифицированных кадров. Мировые страны развивают клиентоориентированные энергетические системы, в то время как Россия находится в начальной стадии этого процесса.

Таким образом, цифровая трансформация в сфере топливно-энергетического комплекса (ТЭК) представляет собой неотъемлемый мировой тренд, но с локальными особенностями и вызовами в каждой стране, включая Россию. Эта цифровая революция призвана повысить эффективность, точность и экологическую устойчивость отрасли, особенно в электроэнергетике. Мировой опыт показывает, что умные системы учета, «зеленая» энергия и клиентоориентированные подходы становятся ключевыми. Однако, в России, существует ряд барьеров, включая ограничения в нормативной базе, отсутствие координации и нехватку квалифицированных кадров, что требует усилий и реформ, чтобы догнать мировой уровень в цифровой трансформации ТЭК.

#### **Источники**

1. Алтухов А.И., Дудин М.Н., Анищенко А.Н. Цифровая трансформация как технологический прорыв и переход на новый уровень развития агропромышленного сектора России // Продовольств. политика и безопасность. 2020.
2. Adeyemi A. et al. Blockchain Technology Applications in Power Distribution Systems // The Electricity J. 2020. Vol. 33. No. 8.
3. Туровец Ю., Проскуракова Л., Стародубцева А., Бьянко В. «Зеленая» цифровая трансформация в электроэнергетике // Форсайт. 2021. Т. 15. № 2.
4. Menzel T., Teubner T. (2020). Green Energy Platform Economics — Understanding Platformization and Sustainabilization in the Energy Sector // Intern. J. of Energy Sector Management. Dec. 23.

5. Текслер А.Л. Цифровизация энергетики. // Минэнерго России. 2019.

6. Сафиуллина, Г. М., Богданова, Н. В. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ // Тинчуринские чтения — Казань: КГЭУ, 2020. — С. 329-332.

7. Гохберг Л.М., Рудник П.Б., Вишневский К.О., Зинина Т.С. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты. // Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. — 239, [1] с.

УДК 654.924.5

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА НА ОБОРОННОМ ПРЕДПРИЯТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Нарис Наилович Фаизов

Науч. рук. к-т техн. наук, доц. Наталия Владимировна Богданова

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

naris.faizov@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются этапы проектирования систем автоматизации противопожарного водопровода на производственном объекте оборонного назначения с использованием отечественного оборудования от российских производителей. Так же обсуждается возможность его последующей эксплуатации, приводятся результаты проектирования.

**Ключевые слова:** проектирование, автоматизация, пожарный водопровод, безопасность, система, оборудование.

## **DESIGN OF AN AUTOMATION SYSTEM FOR FIRE FIGHTING WATER PIPES AT A DEFENSE ENTERPRISE USING DOMESTIC EQUIPMENT**

Naris N. Faizov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

naris.faizov@yandex.ru

**Abstract.** The article discusses the stages of designing fire-fighting water supply automation systems at a defense production facility using domestic equipment from Russian

manufacturers. The possibility of its subsequent operation is also discussed, and design results are presented.

**Keywords:** design, automation, fire water supply, safety, system, equipment.

Безопасность трудовой деятельности и жизни человека остается ключевым параметром на любом промышленном объекте. Производимый продукт, рабочий персонал и наконец сам производственный процесс должны подлежать защите от чрезвычайных последствий (задымление, возгорание, незаконные проникновения) [1].

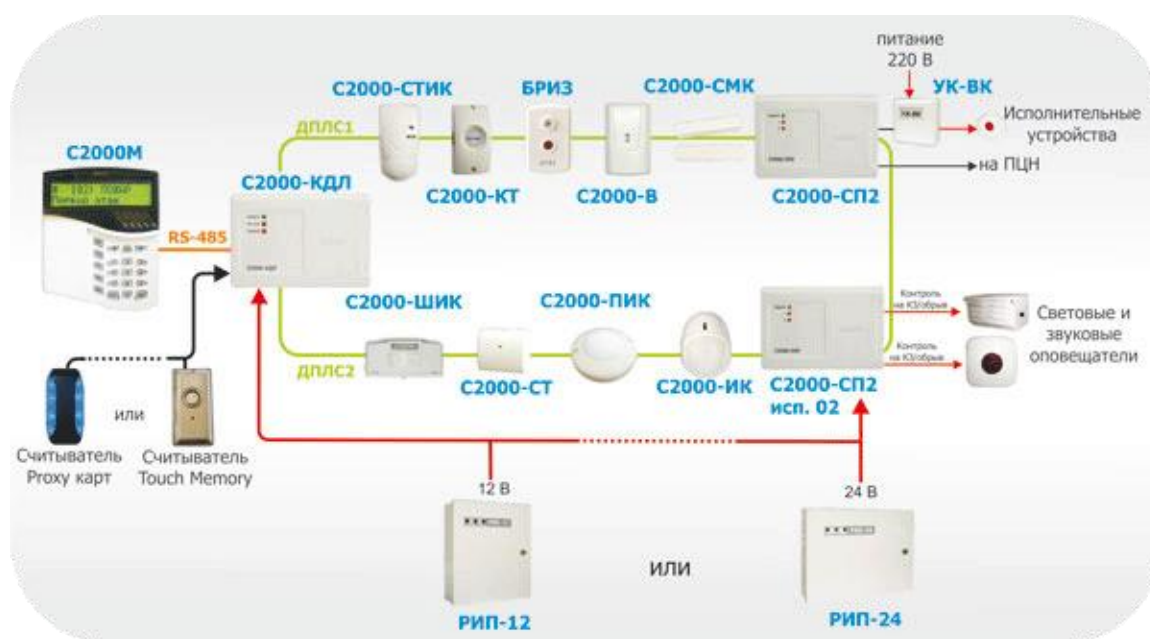
Для осуществления безопасности сначала необходимо грамотно спроектировать систему автоматизации. Существует множество программных обеспечений, позволяющих это сделать, мы воспользуемся классическим продуктом AutoCAD, отлично зарекомендовавшим себя на рынке и имеющим простой интерфейс. Для эффективного процесса проектирования разделим работу на этапы: первый - изучение технического задания, второй - получение планов от смежных отделов, третий - выполнение схемы соединения внешних проводок, четвертый – размещение приборов на планах, пятый – маркировка проводов и оборудования, выполнение спецификации. После выполнения основных этапов, готовый проект отправляется на проверку главному специалисту отдела, который в свою очередь указывает на возможные ошибки и определяет дальнейшие действия [2, 3].

Важно упомянуть, что существуют строгие нормативы в которых прописано, что должно выполнять то или иное пожарное оборудование, для систем пожарной автоматизации это в основном указано в ГОСТ 53325, также есть требования в соответствующих пожарной системе – свод правил (далее СП), например для систем автоматизации внутреннего противопожарного водопровода (далее ВПВ) требования указаны в СП 10.13130 - системы противопожарной защиты, системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты, нормы и правила проектирования, которые также учитывают при сертификации прибора управления исполнительными механизмами (насосами, задвижками) ВПВ [4].

Для проектирования системы автоматизации противопожарного водопровода на оборонном предприятии, с уходом большинства зарубежных производителей, используем отечественное оборудование от компаний научно-внедренческого предприятия (НВП) "Болид" ООО «ГК ЭТЕРНИС», WAGNER TITANUS, ООО «Электротехника и Автоматика». Практика использования данного оборудования показывает, что российские

производители сертифицированы и полностью соответствуют требуемым нормам проектирования систем автоматизации внутреннего противопожарного водопровода, конечно, отсутствие импортных приборов в некоторой степени сказывается на эффективности и эксплуатации, но производство не стоит на месте и постоянно развивается, чтобы прийти к положительному результату.

В интегрированной системе охраны ИСО «Орион», которая представляет собой совокупность аппаратных и программных средств для организации систем пожарной сигнализации, оповещения о пожаре, управления пожаротушением и дымоудалением, охранной сигнализации, контроля доступа, видеонаблюдения, а также систем мониторинга и диспетчеризации адресная система охраны строится на базе контроллера двухпроводной линии связи С2000-КДЛ и широкой номенклатуры адресных извещателей и устройств, изображенной на рисунке ниже, взятого с официального источника (сайта компании «Болид») [5].



Подводя итог, можно сказать, что мы рассмотрели этапы проектирования систем автоматизации противопожарного водопровода на производственном объекте оборонного назначения с использованием отечественного оборудования от российских производителей.

## Источники

1. Пивоваров, В. В. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа: Рекомендации / В. В. Пивоваров, С. Г. Цариченко, В. Л. Здор. – М. : Издательство ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. – 96 с
2. Синилов, В. Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации / В. Г. Синилов. – М. : Академия, 2010. – 512 с.
3. Гордиенко, Д. М. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / Д. М. Гордиенко. – М. : Научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, 2010. – 125 с.
4. СП 484.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федер. закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. – СПб. : Изд-во ДЕАН, 2012. – 144 с.

УДК 681.5

## **РОБОТИЗИРОВАННАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ БЫТОВЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ**

Тимур Айдарович Хабилов

Науч. рук. канд. техн. наук Вилия Равильевна Иванова

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

timhab777@mail.ru

**Аннотация.** статья посвящена разработке роботизированной платформы, в основе которой лежит решение бытовых, коммунальных и частных проблем. Так, он подразумевает собой небольшую гусеничную платформу на электрической тяге с дополнительным навесным оборудованием, которое ставится в зависимости от вида работы, выполняемой роботом.

**Ключевые слова:** робот, роботизированная установка, гусеничная платформа.

## **ROBOTIC PLATFORM FOR SOLVING HOUSEHOLD AND COMMUNAL PROBLEMS**

Timur A. Khabirov  
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
timhab777@mail.ru

**Abstract.** the article is devoted to the development of a robotic platform based on the solution of household, communal and private problems. So, it implies a small tracked platform on electric traction with additional attachments, which is placed depending on the type of work performed by the robot.

**Keywords:** robot, robotic installation, crawler platform.

В современном мире все больше и больше задач переходят на автоматизацию, и роботы становятся незаменимыми помощниками в бытовых и профессиональных сферах [1]. Их высокая производительность, автономность и универсальность делают их идеальным выбором для выполнения различных задач, включая уборку снега, уборку территории, вывоз мусора и другие бытовые задачи [2]. Таким образом, гусеничные роботы представляют собой новое слово в технологическом прогрессе и становятся неотъемлемой частью современного образа жизни.

Многие производственные, бытовые и коммунальные проблемы вызывают трудности в жизни современных людей. Роботизированная платформа сможет значительно помочь в решении этих проблем. Поэтому внедрение таких инновационных роботов с возможностью выполнять повседневные задачи носит актуальный характер.

Планируется разработка роботизированной платформы, которая может упростить какой-либо человеческий труд. Для обоснования внедрения разработки планируется проведение компьютерного моделирования для приближенной оценки поведения всей платформы в целом.

Внедрение роботизированных решений на объектах энергетики, производств, просторов городов будет способствовать достижению их автономности и максимальной автоматизации.

Одной из основных функций гусеничного робота является уборка снега. Благодаря своей конструкции и специальным гусеницам, он способен легко перемещаться по снежной поверхности и убирать снег с дорожек, площадок и других участков. Это особенно актуально для жителей северных регионов, где снегопады являются обыденным явлением (см. рисунок).



Уборка снега

Кроме того, гусеничный робот может выполнять различные бытовые задачи, такие как уборка территории, вывоз мусора, поливка газонов и многое другое. Его универсальность делает его незаменимым помощником для домашних хозяйств, а также для предприятий и организаций [3]. Робот способен самостоятельно перемещаться по территории, выполнять заданные задачи и возвращаться на базу для зарядки или обслуживания. Это значительно экономит время и усилия человека, освобождая его для выполнения других задач [4].

Благодаря использованию передовых технологий и инновационных разработок, гусеничный робот обладает высокой производительностью и надежностью. Он способен работать в самых различных условиях, не завися от времени суток и погодных условий.

Таким образом, гусеничный робот представляет собой уникальное техническое решение, которое способно значительно упростить бытовые задачи и повысить эффективность работы. Его использование позволяет экономить время, силы и ресурсы, что делает его незаменимым помощником в современном мире.

### Источники

1. Воротников, С.А. Техническое зрение роботов с использованием TrackingCam / С.А. Воротников, Е.А. Девятериков, А.О. Панфилов. – Москва : ООО "Прикладная робототехника", 2017. – 71 с.

2. Юревич, Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2010. – 252 с.



3. Бишоп, Оуэн Настольная книга разработчика роботов / Оуэн Бишоп. – нет: МК-Пресс, Корона-Век, 2010. – 400 с.

4. Ньютон С. Брага Создание роботов в домашних условиях. / Ньютон С. Брага ; пер. с англ. Е.А. Добролежина. – М. : НТ Пресс, 2007. – 368.

УДК 004.032:621.3

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОДБОРА ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Артём Алексеевич Чучалов

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Наталия Владимировна Богданова

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

caa212000@mail.ru

**Аннотация.** Автоматизированные системы управления играют важную роль в обеспечении эффективности и безопасности производственных процессов. Выбор оборудования для таких систем является ключевым этапом их проектирования и реализации. В данной статье рассматриваются основные методы оценки и выбора оборудования, которые позволяют обеспечить оптимальное функционирование АСУ.

**Ключевые слова:** система управления, выбор оборудования, метод, критерии подбора, оценка оборудования.

## **ANALYSIS OF METHODS FOR SELECTION OF EQUIPMENT FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEMS**

Artem A. Chuchalov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

caa212000@mail.ru

**Abstract.** Automated control systems play an important role in ensuring the efficiency and safety of production processes. The selection of equipment for such systems is a key stage in their design and implementation. This article discusses the main methods for evaluating and selecting equipment that ensure optimal functioning of the automated control system.

**Keywords:** control system, equipment selection, method, selection criteria, equipment evaluation.

Номенклатура оборудования для автоматизированных систем управления (АСУ) постоянно растет, и выбор подходящего решения может быть не простым заданием. Анализ методов подбора оборудования АСУ является важным шагом в проектировании и реализации системы, поскольку позволяет определить оптимальные технические характеристики, соответствующие целям и потребностям организации [1].

В основе определения критериев для выбора оборудования АСУ лежат требования обеспечения нормального протекания технологического процесса. Перечислим важнейшие из критериев, актуальные для любого процесса.

1. Надежность оборудования - способность устройства сохранять свои эксплуатационные характеристики в течение заданного времени.

2. Точность и стабильность работы - показатели, определяющие степень отклонения реальных параметров от заданных значений.

3. Простота монтажа и обслуживания - возможность быстрого и легкого подключения и замены оборудования.

4. Стоимость оборудования – затраты на приобретение, установку и эксплуатацию устройств.

5. Совместимость с другими элементами АСУ – возможность совместной работы оборудования с другими компонентами системы.

Рассмотрим существующие методы оценки параметров оборудования.

Метод экспертных оценок. Производится экспертами в данной области, которые оценивают оборудование на основе своего опыта и знаний. Для экспертной оценки могут применяться различные критерии, например, показатели надежности, функциональность, производительность, удобство использования и т. д., уровень достижения которых влияет на общую оценку [2].

Анализ иерархий. Метод разработан Томасом Саати и позволяет определить приоритетность критериев выбора оборудования. Анализ предполагает построение иерархической структуры, где на верхнем уровне находится цель, то есть выбор оборудования, на среднем - критерии его выбора, на нижнем – существующие альтернативы (различные виды оборудования). Затем определяются веса критериев и производится сравнение альтернатив по каждому критерию [3].

Метод стоимостной оценки. Оценка может включать не только стоимость приобретения оборудования, но и стоимость его эксплуатации, обслуживания, ремонта и т. д. Существует несколько подходов к стоимостной оценке, включая методы амортизации, сравнения стоимости существующих аналогов оборудованиями, а также метод определения

степени влияния оборудования на показатели эффективности системы автоматизации [4].

Метод показателей эффективности (сравнительный анализ). Основан на использовании количественных показателей эффективности, таких как время работы оборудования без сбоев, количество производимых продуктов за определенный период времени и т. д. Оценка оборудования происходит на основе сравнения этих показателей с заданными стандартами [5].

Метод технической экспертизы. Метод включает техническое исследование оборудования для определения его технических характеристик и состояния. Техническая экспертиза может использовать различные виды тестирования, анализа и измерений для оценки производительности, надежности, энергоэффективности и других параметров оборудования.

Рассмотренные методы оценки имеют свои достоинства и недостатки, включают разное количество операций и могут существенно различаться при реализации, например, по временным затратам на сбор и обработку информации. Оценка оборудования, выбираемого для обеспечения безопасности и качества протекания технологического процесса, может быть проведена как одним из перечисленных методов, так и несколькими с целью повышения ее адекватности.

## Источники

1. Чуркин Г.М., Великанов А.М., Тырин Е.А. К вопросу о выборе средств автоматизации АСУ ТП // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 2. № 1 (70). С. 151-158.

2. Попов Г.А., Попова Е.А., Мельников А.В. Анализ параметров информационной безопасности автоматизированных систем на основе использования уточненных экспертных оценок // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2015. № 1. С. 33-39.

3. Благодатский Г.А., Копысов А.Н., Хворенков В.В., Батурин И.С. Анализ иерархической модели автоматизированной системы управления параметрами радиолиний когнитивной радиосистемы // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 6. С. 51-67.

4. Сиротина Л.К. Методы оценки стоимости жизненного цикла оборудования в управлении производством // Компетентность. 2022. № 1. С. 3439.

5. Сафаров И.М., Богданова Н.В., Латыпов Т.И. Оценка суммарной эффективности программируемых логических контроллеров с целью

реализации политики импортозамещения // Инженерный вестник Дона. 2023. № 7 (103). С. 166-181.

УДК 621.397.7

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ РУЧНОГО ЭЛЕКТРОИНСТРУМЕНТА

Дамир Инсавофич Шайхезадин

Науч. рук. канд. техн. наук Ольга Владимировна Борисова

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

shajhezadin2013@yandex.ru

**Аннотация.** В статье представлен результат разработки электронной системы прототипа аккумулятора для ручного электроинструмента, приведены сравнительные характеристики и обоснование выбора отдельных комплектующих. Актуальность работы определена необходимостью импорт замещения и сопутствующими проблемами при использовании данного оборудования.

**Ключевые слова:** электрический инструмент, аккумулятор, импортозамещение.

## DEVELOPMENT OF AN ELECTRONIC BATTERY SYSTEM FOR A HAND-HELD POWER TOOL

Damir I. Shaikhezadin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

shajhezadin2013@yandex.ru

**Abstract.** The article presents the result of the development of an electronic battery prototype system for a hand-held power tool, provides comparative characteristics and justification for the selection of individual components. The relevance of the work is determined by the need for import substitution and related problems when using this equipment.

**Keywords:** electric tool, battery, import substitution.

В современном мире большое распространение получили инструменты, использующие аккумуляторные батареи в качестве источника питания. К ним относятся шуруповерты, болгарки, перфораторы, циркулярные пилы и другие инструменты. Однако со временем аккумуляторы для таких устройств теряют былую емкость,

мощность или же попросту приходят в негодность, а найти и купить совместимые с устройством источник питания от того же производителя становится сложнее и дороже.

В статье приведен опыт разработки электронной системы прототипа аккумуляторного источника питания совместимого с шуруповертом от компании BOSCH.

### 1. Выбор аккумуляторов

Среди аккумуляторов есть много видов, различных по строению и химическому составу:

- 1) Свинцово-кислотный (Pb),
- 2) Никель-кадмиевый (NiCd),
- 3) Никель-металл-гидридный (NiMH),
- 4) Литий-ионные (Li-ion):
  - с кобальтатом лития  $\text{LiCoO}_2$ ,
  - литий-марганцевый  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,
  - литий-железо-фосфатный  $\text{LiFePO}_4$  [1].

Наиболее оптимальным вариантом из всех являются аккумуляторы на Li-ion основе, как с точки зрения химических характеристик, так и по экономическим соображениям [2]. Среди подобных источников питания был выбран высокотоковый аккумулятор Li-Ion 18650 ICR18650HG2 3000mAh 20A.

### 2. Плата защиты

Аккумуляторы на Li-ion основе обладают многими преимуществами, однако требовательны к безопасности при заряде и разрядке. Для контроля этих процессов используют BMS (Battery Management System или «Система контроля батареи») платы – устройства для контроля за состоянием батареи и предотвращения ее работы в нештатном режиме [3].

Важным элементом является балансир — встроенное в BMS плату и обеспечивающее равномерное распределение напряжения на всех аккумуляторных ячейках, ограничивающее чрезмерный заряд одних и разряд других элементов питания [4]. Оригинальный аккумулятор Bosch выдает 14.4 Вольт. Номинальное напряжение аккумулятора ICR18650HG2 составляет 3.7 Вольт, поэтому для достижения необходимых 14.4 Вольт потребовалось 4 последовательно соединенных аккумулятора. А в качестве BMS платы была выбрана плата, которая обладала большим выходным током, необходимым для работы инструментов и балансировкой напряжения [5].

### 3. Сборка и тестирование

Корпус для аккумулятора был распечатан на 3Д принтере. Он вмещает в себя как гнездо для 4-х аккумуляторов типа 18650, так и BMS плату.



Внешний вид аккумулятора

Тестирование показало, что по отдельным показателям, таким как емкость аккумулятора и максимальный ток отдачи, аккумуляторная сборка превзошла оригинал.

В настоящее время прототип проходит этап опытной эксплуатации в МИЦ «Энергия», по результатам которой планируется дальнейшая модернизация и принятие решения о разработке и применении подобных самодельных аккумуляторов для другого электроинструмента.

### Источники

1. Новиков А. В., Бурмистров А. В. Исторически обзор и перспективы развития аккумуляторных батарей //Апробация. – 2016. – №. 4. – С. 12-22.

2. Харламенков А. С. Системы защиты ячеек и батарейных блоков с литий-ионными аккумуляторами. Часть 2 //Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. – 2022. – Т. 31. – №. 5. – С. 83-86.

3. Кулова Т. Л., Скундин А. М. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В МИРЕ И РОССИИ //Электрохимическая энергетика. – 2023. – Т. 23. – №. 3. – С. 111-120.

4. Bogdanov A.N., Gilfanov K.H., Latypov T.I. Digitalization and robotization in the automation of energy facilities // Международный симпозиум "Устойчивая энергетика и энергомашиностроение - 2021: SUSE-2021": Материалы Международной конференции с размещением в Международной базе Scopus, Казань, 18–20 февраля 2021 года. – Казань:

Казанский государственный энергетический университет, 2021. – Р. 374-378. – EDN FSLMNN.

5. Плотников В. Г., Чешко И. Д., Кондратьев С. А. Пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов и низковольтных источников питания на их основе //Исследование пожаров. – 2014. – С. 53-58.

УДК 691.175

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕРИАЛА ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ КОЛЁС САМОДЕЛЬНОГО РОБОТА**

Никита Сергеевич Шаронов

Науч. рук. канд. техн. наук Ольга Владимировна Борисова

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

nik.sharonov.03@mail.ru

**Аннотация.** Технология 3D-печати значительно изменила процесс разработки различных устройств и компонентов, включая колеса для роботов. Однако выбор оптимального материала для 3D-печати колёс остается актуальной проблемой. Цель данного исследования заключается в оценке и определении наиболее подходящего пластика для 3D-печати колёс для самодельного робота. В работе оценены механические свойства наиболее часто используемых при 3D-печати материалов для определения их пригодности для данного применения. Результаты исследования будут способствовать разработке более надежных и эффективных самодельных роботов с улучшенной мобильностью и производительностью.

**Ключевые слова:** пластик, прототипирование, мобильный робот, 3D-печать, колеса, механические свойства.

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF MATERIAL FOR 3D-PRINTED WHEELS OF A HOMEMADE ROBOT**

Nikita S. Sharonov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

nik.sharonov.03@mail.ru

**Abstract.** 3D printing technology has significantly changed the development process of various devices and components, including wheels for robots. However, selecting the optimal material for 3D printing wheels remains a current challenge. The aim of this study is to evaluate and identify the most suitable plastic for 3D printing wheels for a homemade robot. This work evaluates the mechanical properties of the most commonly used materials in

3D printing to determine their suitability for this application. The results of the study will contribute to the development of more robust and efficient homemade robots with improved mobility and performance.

**Keywords:** plastic, prototyping, mobile robot, 3D printing, wheels, mechanical properties.

Прогресс в технологии 3D-печати позволил с легкостью создавать сложные конструкции и компоненты. Для энтузиастов робототехники и изобретателей возможность оперативного создания различных вариантов колес создает хорошие возможности для настройки робота под конкретные задачи [1, 5]. Выбор оптимального материала для 3D-печати колес является также важным аспектом, который может существенно повлиять на маневренность робота.

Для прототипирования обычно используют FDM 3D-принтер, печатающий пластиком, ассортимент которого довольно широк и различается по свойствам и назначению использования [2, 3]. В своей работе выполнил сравнительный анализ материалов, наиболее часто используемых при 3D-печати, включая PLA, ABS, PETG и нейлон. Эти материалы были выбраны из-за их доступности, стоимости и пригодности для исполнения робототехнических деталей. [4].

При оценке механических свойств выбранных материалов рассматривал характеристики упругости при растяжении, ударной прочности, плотности и прочности на разрыв. (см. рисунок 1)

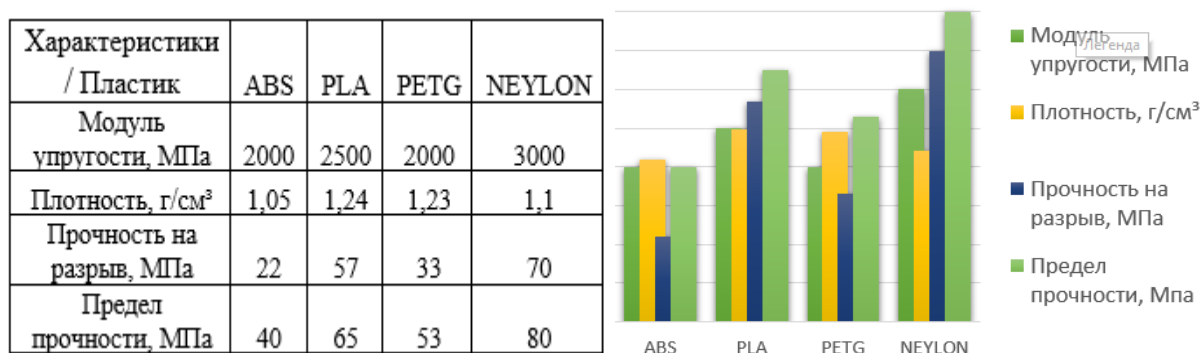


Рис. 1. Свойства пластиков

Сравнение прочности на разрыв позволяет определить максимальную нагрузку, которую напечатанное колесо сможет выдержать перед разрушением. Результаты указывают на устойчивость материала к



внешним силам и его способность не деформироваться при наличии нагрузки.

Сравнение предела прочности показывает способность материала поглощать энергию при внезапных ударах, таких как столкновения или падения. Это важное свойство для защиты колес робота и обеспечения их долговечности.

Характеристика модуля упругости позволят определить гибкость и деформируемость материала. Способность материала возвращаться к исходной форме после сжатия или растяжения является важной для поддержания функциональности и стабильности колеса.

Исходя из сравнения механических свойств материалов можно выделить нейлон как оптимальный материал для изготовления колес самодельного робота. Данный материал будет обеспечивать максимальную надежность, эффективность и долговечность так как не будет портиться от различных погодных и температурных условий при возможных вариантах использования на улице или производстве.

Из нейлона были напечатаны прототипы колес (см. рисунок 2), которые в настоящее время проходят тестовые испытания.



Рис. 2. Машинка с напечатанными колесами

### **Источники**

1. Славкина В.Э. Выбор материала для создания прототипа крышки теплообменника с помощью аддитивных технологий // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 4(45). – С. 68-74. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-4-68-74. – EDN DTDХТС.

2. Шумейко И.А. Анализ пластмасс при их выборе для 3d печати модели ветроэнергетической установки // Universum: технические науки. – 2021. – № 3-1(84). – С. 74-77. – EDN NFPEOJ.

3. Зыков А.П. Анализ и сравнение композитных материалов для трехмерной печати // Модели и методы развития технологий

машиностроения в условиях цифровизации экономики России : Сборник статей / Под редакцией А.А. Поповича, Д.П. Гасюка. – Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – С. 63-67. – EDN LBUBHT.

4. Лысыч М.Н. Материалы, доступные в рамках различных технологий 3D печати // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 5. – С. 20-25. – EDN UHWEIN.

5. Bogdanov A.N., Danilov V.A., Hallyyev I.A. Prototyping for the development of practical skills of students in automation and robotics // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022 : 4, Moscow, 17–19 марта 2022 года. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731441. – EDN TMIMZT.

УДК 621.3.078

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ ИЗБЫТОЧНЫХ ВОД ИСХОДЯ ИЗ УРОВНЯ ВОДЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ДРЕНАЖНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ Г. ЙОШКАР-ОЛА**

Адель Юрьевна Эйтерник

Науч. рук. канд. техн. наук, проф. Владимир Витальевич Плотников

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

adeleyternik@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена система автоматического регулирования подачи избыточных вод в дренажный и центробежные насосы. Описаны принцип работы дренажной насосной станции №2 очистных сооружений г. Йошкар-Ола, а также присущее ей основное технологическое оборудование. Рассмотрена возможность импортозамещения дренажных и центробежных насосов на отечественное технологическое оборудование.

**Ключевые слова:** автоматическое регулирование, очистные сооружения, избыточные воды, дренажный насос, оптимизация, сточные воды.

# AUTOMATIC REGULATION OF WASTEWATER SUPPLY BASED ON THE WATER LEVEL TO OPTIMIZE THE OPERATION OF THE DRAINAGE PUMPING STATION OF THE TREATMENT FACILITIES OF YOSHKAR-OLA

Adel Yu. Eyternik

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

adeleyternik@yandex.ru

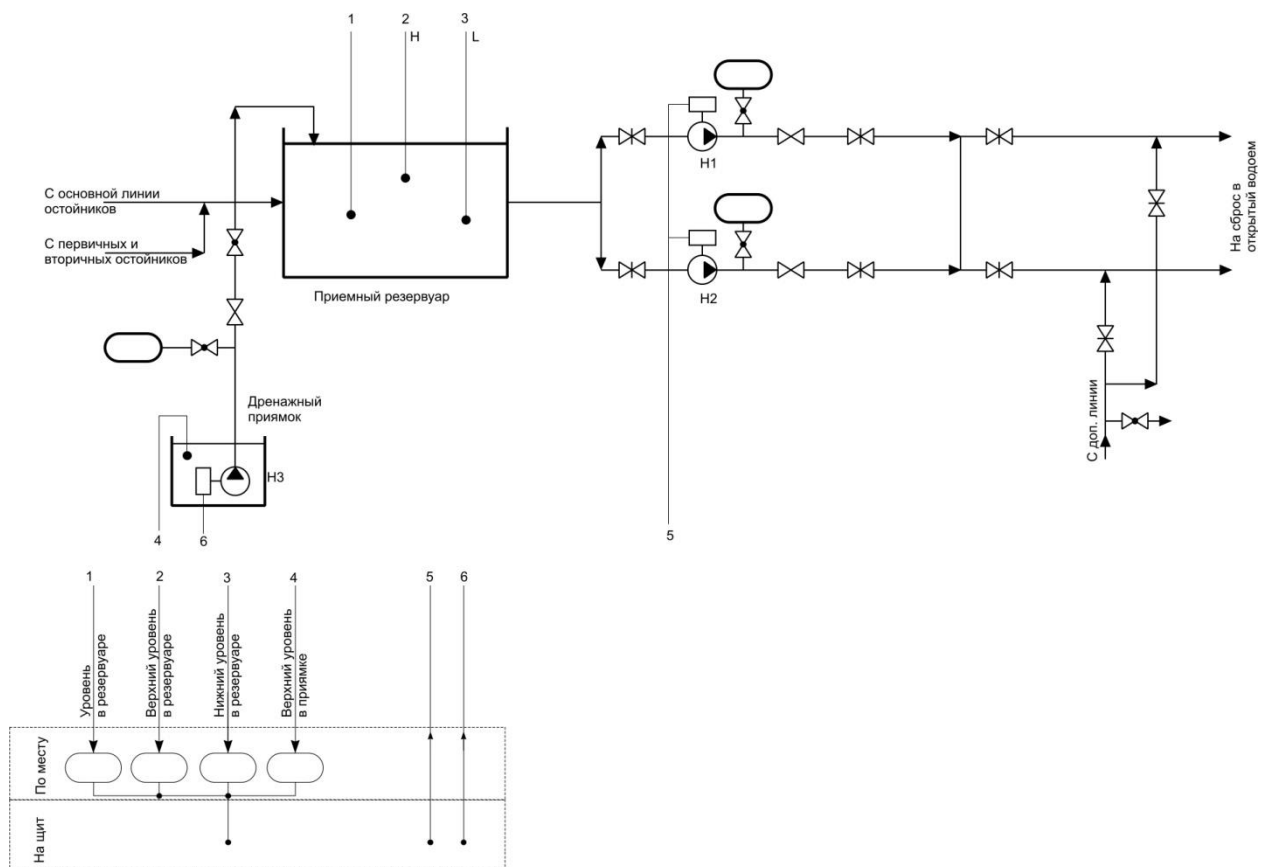
**Abstract.** The article considers the system of automatic regulation of the supply of excess water to drainage and centrifugal pumps. The principle of operation of the drainage pumping station No. 2 of the treatment facilities of Yoshkar-Ola, as well as the basic technological equipment inherent in it, are described. The possibility of import substitution of drainage and centrifugal pumps for domestic technological equipment is considered.

**Keywords:** automatic regulation, sewage treatment plants, excess water, drainage pump, optimization, waste water, process equipment.

Реконструкция очистных сооружений в г. Йошкар-Ола началась в 2019 году, и по сей день работа на них продолжается. Технологические сооружения, задействованные при реконструкции, делятся на основные сооружения (механической очистки, биологической очистки, комплекс обработки осадков и т. д.) и вспомогательные сооружения (воздуходувная станция, насосная станция дренажных вод, насосная станция активного ила и т.д.). В документации «Основные технические решения» были определены здания, подлежащие полному демонтажу, одним из которых является насосная станция дренажных вод 1 линии, а также реконструкции дренажной насосной станции 2 линии [1].

Принцип действия дренажной НС основан на откачивании избыточных вод из подземных и поверхностных объектов, предотвращая ее скопление, возможные повреждения сооружений и заболоченность территории [2]. Избыточная вода накапливается в отстойниках и поступает в резервуар дренажной насосной станции. Помимо этого, избыточные воды могут повторно использоваться в технологическом процессе для промывки и регенерации очистных устройств.

К технологическому оборудованию дренажной насосной станции очистных сооружений г. Йошкар-Ола относятся два центробежных насоса Н1, Н2, дренажный насос Н3, два резервуара, запорно-регулирующая арматура. К измерительным приборам относятся гидростатический датчик уровня, поплавковый сигнализатор уровня, манометр.



Функциональная схема автоматизации дренажной НС №2

Регулирование технологическим оборудованием производится за счет автоматической системы управления (АСУ) [3, 5]. Управление центробежными насосами осуществляется по показаниям датчика уровня и двух сигнализаторов уровней в приемном резервуаре. Управление дренажным насосом осуществляется по показаниям уровня в дренажном приямке сигнализатором уровня [4].

При достижении определенного уровня воды в дренажный резервуар, система управления активизирует дренажный насос, который направляет воду в приемный резервуар. В приемный резервуар также поступает поток воды из первичных и вторичных отстойников и других объектов очистных сооружений. Вода, достигая нужного уровня в приемном резервуаре, распределяется на два центробежных насоса, после которых либо идет на повторное использование, либо сбрасывается в водоемы. Сделано это для того, чтобы нормализовать поток избыточной воды во избежание перегрузки Н1, Н2.

Для оптимизации работы дренажной системы могут использоваться различные технические решения, одним из которых может являться

импортозамещение дренажного и центробежного насосов. На данный момент наблюдаются существенные ограничения с поставками зарубежного оборудования, а поскольку данные насосы поставляются в полном комплекте, но без запасных деталей, то возникнет сложность их замены при аварийных ситуациях.

### Источники

1. Реконструкция очистных сооружений канализации г. Йошкар-Олы // I-OLA.RUURL: [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. Паранук, А. А. Эксплуатация насосных и компрессорных станций / А. А. Паранук, С. А. Мамий. ФГБУ "Российское энергетическое агентство" Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ- 2019. – 286 с. – ISBN 978-5-91221-412-7. – EDNDGZNXL.
3. 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/> (дата обращения: 07.11.2023).
4. Предварительная физико-механическая обработка активного ила при биологической очистке сточных вод / А. А. Денисов, Б. В. Щербина, А. В. Семижон, В. Ф. Белоусов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1996. – № 5-6(234-235). – С. 81-82. – EDN QCPDIP.
5. Комплексный критерий оценки эффективности программируемых логических контроллеров / Сафаров И.М., Богданова Н.В., Латыпов Т.И. // Инженерный вестник Дона. 2023. - №9

УДК 66.074.2

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕПАРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С ДУГООБРАЗНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Азалия Айратовна Абдуллина<sup>1</sup>, Тимур Маратович Тахавиев<sup>2</sup>

Науч. рук кан. техн. наук, доц. Татьяна Олеговна Шинкевич

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

<sup>1</sup>azalkaabdullina69826@gmail.com, <sup>2</sup>timur21@mail.ru

**Аннотация.** На данный момент широкую популярность в химической отрасли приобрели реакторы с псевдооживленным слоем. В реакторах для улавливания частиц катализатора используют циклоны, однако они имеют ряд недостатков. Для решения данной проблемы предлагается использование сепарационного устройства с дугообразными элементами. Представлены результаты численного моделирования данного устройства, где была получена зависимость эффективности от диаметра улавливаемых частиц при различном количестве рядов дугообразных элементов.

**Ключевые слова:** мелкодисперсные частицы, газовый поток, очистка, сепарационное устройство с дугообразными элементами.

## NUMERICAL STUDY OF A SEPARATION DEVICE WITH ARC- SHAPED ELEMENTS

Azaliya A. Abdullina<sup>1</sup>, Timur M. Takhaviev<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>azalkaabdullina69826@gmail.com, <sup>2</sup>timur21@mail.ru

**Abstract.** At the moment, fluidized bed reactors have gained wide popularity in the chemical industry. Cyclones are used in reagents to capture catalyst particles, but they have a number of disadvantages. To solve this problem, it is proposed to use a separation device with arc-shaped elements. The results of numerical simulation of this device are presented, where the dependence of efficiency on the diameter of the captured particles was obtained with a different number of rows of arc-shaped elements.

**Keywords:** fine particles, gas flow, cleaning, separation device with arc-shaped elements.

В настоящее время реакторы с псевдоожиженным слоем приобретают широкую популярность. Однако такие реакторы сталкиваются с рядом проблем, связанных с унесением и разрушением мелких частиц катализатора. Это связано с интенсивным движением твердых частиц катализатора внутри реактора, в следствие чего происходит их соударению, что часто вызывает разрушение частиц и разделение их на мелкие фрагменты. Эти мелкие частицы могут уноситься из реактора, что приводит к потере ценного катализатора и уменьшению его запаса. Кроме того, частицы, имеющие большие импульсы, при ударе о детали могут привести к их преждевременной замене [1]. Для отделения таких катализаторных частиц от потоков газа обычно используют циклоны. После поступления через входной патрубок неочищенного газового потока в циклон, он начинает закручиваться вокруг оси с центробежной силой. Под ее воздействием более тяжёлые частицы отбрасываются от газового потока и движутся к стенкам циклона. Затем они падают и оказываются в бункер для последующей удалению. А очищенный газовый поток выходит из устройства. Стоит отметить, что данные аппараты не имеют подвижных и вращающихся элементов, обладают высокой эффективностью, 80-90%, при высоких значениях скорости, давления и температуры, однако это приводит к увеличению гидравлического сопротивления, что в свою очередь негативно сказывается, так как, во-первых, уменьшает эрозионную устойчивость и, во-вторых, для данных реакторов очень важно значение гидравлического сопротивления, при нарушении которого возможен сбой их нормальной работы.

Для решения данных проблем предлагается использование сепарационного устройства с дугообразными элементами [2]. Оно представляет собой несколько рядов дугообразных элементов, погруженных на определенную глубину в сепарационную решетку, под которой находится бункер устройства, где все это облачено в трапециевидный корпус, имеющий входной и выходной патрубок (рис. 1).

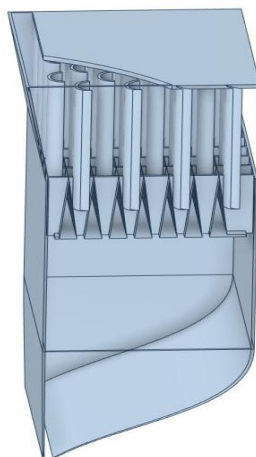


Рис. 1. Трехмерная модель сепарационного устройства с дугообразными элементами

Принцип работы данного устройства заключается в следующем: газовый поток с мелкодисперсными частицами попадает в устройство через входной патрубок после чего попадает на дугообразные элементы. В следствие этого образуется волнообразная структура, где на мелкодисперсные частицы начинают действовать центробежные силы, выбивающие их из газового потока. Далее частица отлетает к дугообразными элементами, где под действием инерционных сил (сила тяжести) опускается вниз и оседает в бункере.

Было проведено численное моделирование данной конструкции в программном комплексе Ansys Fluent. В ходе расчетов было выявлено, что увеличение количества рядов дугообразных элементов  $N$  от 5 до 8 увеличивает эффективность при увеличении частиц (рис. 2).

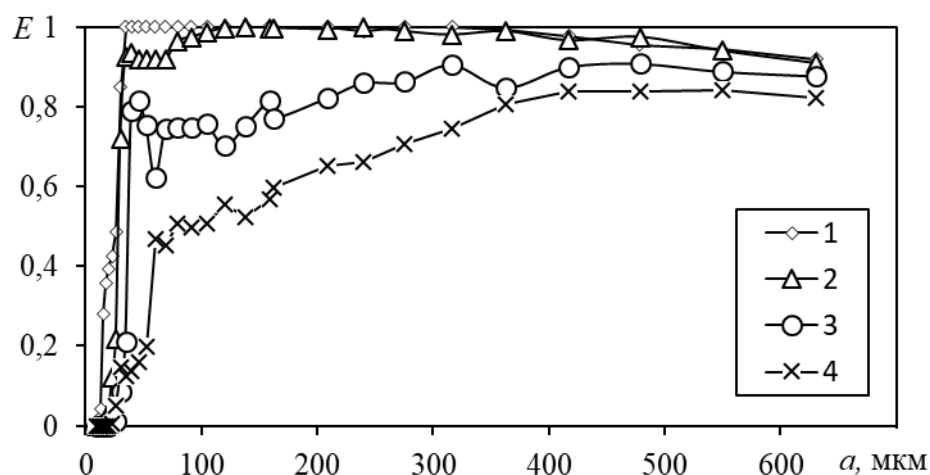


Рис. 2. Зависимость эффективности улавливания частиц сепарационным устройством с дугообразными элементами от размера частиц при различном количестве рядов дугообразных элементов  $N$ : 1–8; 2–7; 3–6; 4–5



### **Источники**

1. Зинуров, В. Э. Улавливание мелкодисперсных частиц мультивихревым сепаратором в окрасочно-сушильной камере / В. Э. Зинуров, Р. Я. Биккулов, А. В. Дмитриев, А. А. Абдуллина // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 6. – С. 57-61. – DOI 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_6\_57..

2. Салахова, Э. И. Влияние сепарационной решетки на эффективность улавливания твердых частиц в устройстве с дугообразными элементами / Э. И. Салахова, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, А. В. Дмитриева, А. А. Абдуллина // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26. – № 8. – С. 41-46. – DOI 10.55421/1998-7072\_2023\_26\_8\_41.

УДК 536.24

## **КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ С ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ НА ПОВЕРХНОСТИ КОЛЬЦЕВОГО КРУГЛОГО ПРЯМОГО РЕБРА ПОСТОЯННОЙ ТОЛЩИНЫ**

Гузель Рамилевна Бадретдинова

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Андрей Владимирович Дмитриев

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

nice.badretdinova@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена конденсация парогазовой смеси, содержащая твердые частицы, на поверхности кольцевого круглого прямого ребра постоянной толщины. Получена формула для определения относительного теплового потока, отводимого ребром к охлаждаемой воде. Получена зависимость относительного теплового потока от разности температур ребра и окружающей среды. Установлено, что при увеличении разности температур с 10 до 50°C, относительный тепловой поток увеличивается в 0,29 раз, а с ростом разности температур с 10 до 100°C повышается в 0,17 раз в момент времени 70 суток.

**Ключевые слова:** оребренная труба, конденсация парогазовой смеси, твердые частицы, тепловой поток.

## **CONDENSATION OF A VAPOR-GAS MIXTURE WITH SOLID PARTICLES ON THE SURFACE OF AN ANNULAR CIRCULAR STRAIGHT RIB OF CONSTANT THICKNESS**

Guzel R. Badretdinova

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

nice.badretdinova@mail.ru

**Abstract.** The article considers the condensation of a vapor-gas mixture containing solid particles on the surface of an annular circular straight rib of constant thickness. The formula for determining the relative heat flow diverted by the edge to the cooled water is obtained. The dependence of the relative heat flow on the temperature difference of the rib and the environment is obtained. It was found that with an increase in the temperature difference from 10 to 50 ° C, the relative heat flux increases by 0.29 times, and with an increase in the temperature difference from 10 to 100 ° C increases by 0.17 times at the time of 70 days.

**Keywords:** finned pipe, condensation of vapor-gas mixture, solid particles, heat flow.

Теплообменники с наружной оребренной поверхностью труб получили широкое распространение в химической, нефтехимической и пищевой промышленности, с целью повышения тепловой эффективности процессов тепло- и массообмена. Одним из сложных тепломассообменных процессов при фазовых переходах вещества является конденсация парогазовой смеси с твердыми частицами на поверхности кольцевого круглого прямого ребра трубы теплообменника. Исследования по конденсации парогазовой смеси на наружной поверхности труб теплообменника встречаются довольно часто [1]. В работе [2] исследовано влияние объемной доли водяного пара и геометрии ребра на процесс конвективно-конденсационной теплопередачи. Установлено, что при увеличении объемной доли водяного пара с 0,05 до 0,20 скрытая эффективность процесса теплопередачи ребра растет с 0 до 0,102, а явная – снижается с 0,441 до 0,396. Также получено, что увеличении высоты ребра с 7 до 16 мм явная и скрытая эффективность процесса теплопередачи ребра падает на 33,8 и 76,7% соответственно. В работе [3] было исследовано влияние мольной доли пара, скорости влажного воздуха, температур охлаждающей воды на входе и влажного воздуха на характеристики процесса теплопередачи конденсации влажного воздуха на наружной поверхности оребренной трубы. Для сравнения при тех же параметрах была исследована и гладкая труба теплообменника. Авторами установлено, что с увеличением мольной доли пара и скорости влажного воздуха коэффициент теплопередачи увеличивался как для оребренной трубы, так и для гладкой, а с увеличением температуры влажного воздуха или охлаждающей воды на входе коэффициент теплопередачи уменьшался. В случае однофазной конвективной теплопередачи оребренная труба позволяет достичь коэффициента теплопередачи в 3,1 раза выше гладкой трубы, а в случае теплопередачи с конденсацией

влажного воздуха в 1,7 раза при мольной доле пара, равной 0,05. В работе [4] проанализировано влияние числа Рейнольдса, температура воды на входе и дымовых газов на эффективность процесса теплопередачи, коэффициент загрязнения и число Нуссельта для дымовых газов. Результаты показывают, что температура воды на входе и число Рейнольдса дымовых газов являются основными факторами, определяющими характеристики теплопередачи испытательной трубы. В работе [5] авторами экспериментально было проведено исследование теплообмена от парогазовой смеси с температурой 200°C при передаче тепла через оребренную поверхность.

Целью данного исследования является определение влияния разности температур ребра и окружающей среды на относительный тепловой поток при конденсации парогазовой смеси с твердыми частицами на поверхности кольцевого круглого прямого ребра постоянной толщины.

Общий относительный тепловой поток, отводимый ребром, определялся по формуле:

$$Q_0 / \Lambda = 2\pi \cdot \left[ \frac{\theta_0 - \vartheta_{i=1}}{\Delta r} \cdot (R_0 + \Delta r / 2) + \theta_0 \cdot \frac{2 \cdot \lambda_o}{\Lambda} \cdot \frac{R_0 \cdot \Delta r}{2\delta_{i=0}} \right]$$

Результаты исследования показывают, что с увеличением разности температур с 10 до 50°C в момент времени 70 суток, относительный тепловой поток повышается в 0,29 раз, а с ростом разности температур с 10 до 100°C он увеличивается в 0,17 раз. Значительные изменения теплового потока наблюдаются в первые 10 суток, при этом разница показателей теплового потока становится более значительна с увеличением разницы температур ребра и окружающей среды. После 10 суток изменение относительного теплового потока протекает более плавно.

## Источники

1. 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.

2. Yang K., Yang J., Han L., Liu H., Zhou L., Yu S., Deng L., Che D. A numerical model for convective-condensation heat transfer of flue gas and its application on fin efficiency calculation // Numerical Heat Transfer, Part A: Applications. 2023. С. 1–20.

3. Gu Y.H., Liao Q., Cheng M., Ding Y.D., Zhu X. Condensation heat transfer characteristics of moist air outside a three-dimensional finned tube // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2020. Т. 158. С. 119983.

4. Wei W., Sun F., Shi Y., Ma L. Experimental research of fouling layer and prediction of acid condensation outside heat exchanger used in coal-fired boiler // Applied Thermal Engineering. 2018. Т. 131. С. 486–496.

5. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Шарипов И.И., Галимова А.Р. Экспериментальное исследование теплообмена от парогазовой смеси при передаче тепла через ребристую поверхность // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Т. 7. № 2 (26). С. 60–74.

УДК 532.526

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АППАРАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАГЕЛЯ С УМЕНЬШЕННЫМ РАЗМЕРОМ ОТВЕРСТИЙ ДЛЯ СЕПАРАЦИИ**

Айрат Эдуардович Залаев

Науч. рук. кандидат техн. наук, зав. каф. Вадим Эдуардович Зинуров

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

Ajrat.zalaev@bk.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрена эффективность классификатора [1] с измененным размером отверстия для получения силикагеля. Проведены исследования установки для разделения микрочастиц в программе Ansys Fluent.

**Ключевые слова:** классификатор, силикагель, сепарирование.

## **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE DEVICE FOR OBTAINING SILICA GEL WITH A REDUCED SIZE OF HOLES FOR SEPARATION**

Airat E. Zalyaev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

Ajrat.zalaev@bk.ru

**Abstract.** The article considers the effectiveness of the classifier [1] with a modified hole size for obtaining silica gel. The results of research in the Ansys Fluent program are presented.

**Keywords:** classifier, silica gel, separation.

Сегодня очень трудно представить работу многих заводов без сорбентов, например силикагеля. Их используют и в химической промышленности, и в агропромышленном комплексе, даже в повседневной жизни мы их видим (при покупке обуви), так как это соединение имеет отличные сорбционные свойства. В связи с повсеместным использованием этого вещества, его промышленное производство является очень важным для государства. В данной статье мы рассмотрим модификацию аппарата для получения силикагеля (классификатора), показавшие хорошую эффективность при получении этого материала [1-2].

Для создания силикагеля высокого качества, необходимо сепарировать частицы определённых размеров. В нашем случае нужны частицы размером от 10 мкм до 40 мкм [3-5], с учетом ранее изученных модификаций классификатора, было принято решение уменьшить диаметр отверстий сепарационной решетки до 6мм. Для проверки эффективности классификатора была использована среда для математического моделирования Ansys Fluent. По итогу был получен график эффективности сепарирования частиц (рис. 1.), где по вертикали эффективность улавливания, по горизонтали размер частиц материала.

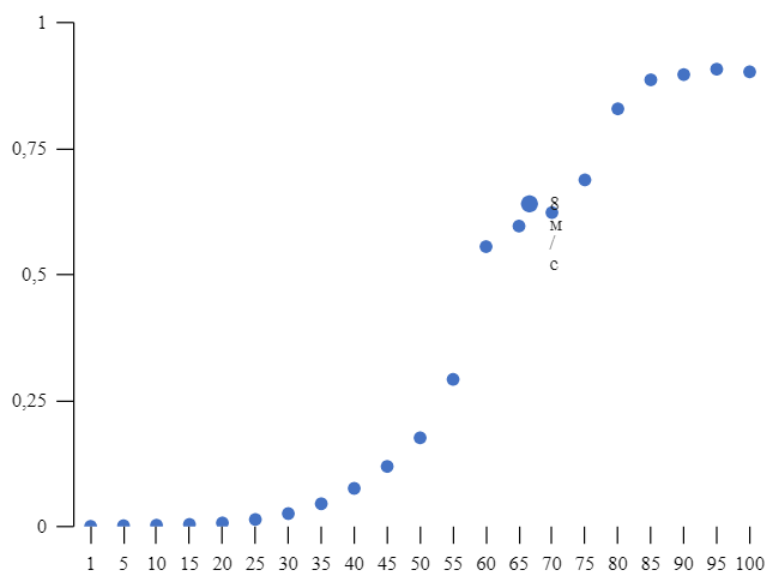


Рис. 1. График эффективности классификатора

Из графика видно, что данная модификация не позволит с достаточной эффективностью создавать силикагель в промышленных масштабах, показав схожие результаты с некоторыми другими

модификациями. При этом надо заметить, что для частиц размером в 40 мкм увеличилась, по сравнению с прошлыми экземплярами [3].

### **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. Сепарационное устройства 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.

5. Тюкавкин Н.М., Подборнова Е.С. Экономическая эффективность энергосбережения, энергопотребления и комплексный подход к ее оценке // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2020. № 11. С. 69–75.

УДК 541.6+544.163.2

## **ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ И УНИВЕРСАЛЬНЫХ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОЕДИНЕНИЙ МЫШЬЯКА**

Иван Евгеньевич Полтев

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. Фарит Гусманович Халитов

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

ivan.poltev322@gmail.com

**Аннотация.** Проведено исследование влияния полярности среды на электрооптические параметры соединений  $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{AsF}_3$  и  $\text{SbF}_3$ . Изменения частот в зависимости от варьирования диэлектрических проницаемостей среды описываются единой прямой для валентных и деформационных колебаний. Выявлена взаимосвязь между спектральными частотами и электронными свойствами дипольных моментов исследованных молекул. Выделены три группы растворителей с различными способностями к межмолекулярным взаимодействиям с  $\text{AsCl}_3$ . Установлены зависимости смещения частот от диэлектрических проницаемостей растворителей.

**Ключевые слова:** межмолекулярные взаимодействия, инфракрасная спектроскопия, дипольные моменты, диэлектрическая проницаемость.

## INFLUENCE OF SPECIFIC AND UNIVERSAL INTERMOLECULAR INTERACTIONS ON THE SPECTRAL PARAMETERS OF ARSENIC COMPOUNDS

Ivan E. Poltev

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ivan.poltev322@gmail.com

**Abstract.** A study was carried out of the influence of the polarity of the medium on the electro-optical parameters of the compounds  $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{AsF}_3$  and  $\text{SbF}_3$ . Changes in frequencies depending on variations in the dielectric constants of the medium are described by a single straight line for stretching and bending vibrations. The relationship between the spectral frequencies and the electronic properties of the dipole moments of the studied molecules was revealed. Three groups of solvents with different abilities for intermolecular interactions with  $\text{AsCl}_3$  have been identified. The dependences of the frequency shift on the dielectric constants of the solvents have been established.

**Keywords:** intermolecular interactions, infrared spectroscopy, dipole moments, dielectric constant.

Для расчета различных теплофизических величин необходима информация об энергиях взаимодействия между молекулами рабочего тела. Известно, что для изучения физическо-химических параметров молекул широко используется инфракрасная спектроскопия. При переводе молекул из газовой фазы в жидкую происходят различные изменения спектральных параметров. При этом наблюдаются изменения интенсивностей полос поглощения и сдвиги их частот, определяемые свойствами исследуемой молекулы и природой растворителя [1].

Соединения, содержащие элементы P, As, Sb, Bi, входят в состав материалов используемых в электронике, солнечных панелях, топологических изоляторах [2].

В работе, на основе предложенной в [3-4] модели, проведено исследование взаимозависимости между смещениями величин частот ( $\Delta\nu_i$  - разность частот в среде и газе) и изменениями дипольных моментов ( $\Delta\mu_i$ ) при варьировании диэлектрической проницаемости среды ( $\epsilon$ ) для молекул  $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{AsF}_3$  и  $\text{SbF}_3$ . В [3-4] приведены соотношения между дипольными моментами ( $\Delta\mu_i$ ) и частотами ( $\nu_i$ ), характеризующие интенсивность соответствующих колебаний полос поглощения для ряда ЭС<sub>3</sub> (Э = N, P, As, Sb)

$$\Delta\mu_i = A \cdot \exp[-(B \cdot \Delta E)] \cdot (h\nu) \quad (1)$$

Экспериментальные данные для частот валентных ( $\nu_i$ ) и деформационных ( $\delta$ ) колебаний [5, 6] для  $\text{AsF}_3$ ,  $\text{AsCl}_3$ ,  $\text{SbF}_3$  позволили рассчитать изменения разности дипольных моментов ( $\Delta\mu_i$ ) в основном и возбужденном состояниях в средах различной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) для 15 вариантов.

Диэлектрическая проницаемость варьировалась от 1 (газ) до 26 (этанол).

Сопоставление относительных величин  $\Delta\nu_i/\nu_g$  и  $\Delta\mu_i/\Delta\mu_g$ , характеризующих смещение частот валентных и деформационных колебаний относительно газовой фазы, указывает на прямую зависимость.

Анализ данных указывает на то, что смещения частот зависят от изменения диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon$ . В работе [7] проведен анализ зависимости экспериментальных частот от полярности среды и получена зависимость частот от диэлектрической проницаемости.

$$h\nu_s = (\epsilon - 1) / (2\epsilon + 2) = f(\epsilon) \quad (2)$$

Анализ данных, полученных из экспериментов, по этой функции в диапазоне менее  $\epsilon=20$ , в растворителях с универсальными взаимодействиями, указывает на прямолинейную зависимость. При больших значениях  $\epsilon>20$ , связанных со специфическими межмолекулярными взаимодействиями (водородные связи), наблюдается отклонение от линейности.

Для соединения  $\text{AsCl}_3$  были рассчитаны 10 значений  $f(\epsilon)$ . По графику зависимости  $\Delta\nu_i$  от  $f(\epsilon)$  наблюдаются 3 условные группы растворителей.



Первая группа (четырёххлористый углерод,  $(\text{CH}_3)_2\text{O}$  и дихлорметан) относится по влиянию на исследуемые молекулы к универсальным ван-дер-ваальсовым межмолекулярным взаимодействиям, вторая к водородным связям и третья к растворителям ароматических соединений.

### Источники

1. Бахшиев Н.Г. Фотофизика диполь-дипольных взаимодействий: Процессы сольватации и комплексообразования. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2005. 500с.
2. Galy J., Matar S.F. // Solid State Scieces. 2018. V. 82. pp. 44-51.
3. Халитов К.Ф. Метод оценки величин интенсивностей полос поглощения в ИК- спектрах молекул вида  $\text{ЭХ}_3$ . Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 9 -10. С. 138-144.
4. Khalitov K.F., Khalitov F.G. // Russ. J. Phys. Chem. A, 2022. V. 96. № 11. P. 2425. DOI: 10.1134/S0036024422110115.
5. Brieux De Mandirola O., "Liquid-Gas  $\text{AsF}_3$  IR Frequency Shifts", J. Mol. Structure, 1961. №3, pp. 465-472.
6. J. E. D. Davies, D. A. Long // J. Chem. Soc., 1968 Sect. A №8 pp. 1757 – 1760
7. Кузьмин М. Г. Зависимости констант скорости испускания и частот электронных переходов эксиплексов от диэлектрической проницаемости среды / М. Г. Кузьмин, И. В. Соболева // Журнал физической химии. 2001. Т. 75. № 3. С. 474-480.

УДК 629.463.32

## ПРОБЛЕМЫ НАГРЕВА МАЗУТА НА КРУПНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Михаил Павлович Сидоров

Науч. рук. кандидат техн. наук, доц. Татьяна Олеговна Шинкевич

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

ms14300@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена проблемам переработки топочного мазута, его разогрева и хранения. Подробно рассмотрены различные способы подогрева мазута. Выявлены их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** энергетический объект, безопасность, мазут, мазутное хозяйство, разогрев мазута, вязкость мазута, паровая рубашка, виброподогреватели.

## THE PROBLEMS OF HEATING HEAVY FUEL OIL ON MAJOR ENERGY FACILITIES

Mikhail P. Sidorov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

ms14300@gmail.com

**Abstract.** This article is dedicated to the problems of recycling, heating and storing heavy fuel oil. Multiple methods of heating heavy fuel oil have been studied in detail. Their advantages and disadvantages revealed.

**Keywords:** energy facility, safety, heavy fuel oil, heavy fuel oil facility, heavy fuel oil heating, heavy fuel oil viscosity, steam jacket, vibratory heaters.

It is known that Russia has a large fuel and energy complex, which is the basis for economic development, an instrument for implementing state policy and significant reserves of natural energy resources (forecast resources of oil are estimated at 44 billion tons, gas – 127 trillion m<sup>3</sup>, coal – 4450 billion t) [1, p. 12].

Over 30% of the produced oil during its refining goes into heating oil, the main consumer of which is power plants and boiler houses. An analysis of the structure of the fuel and energy balance of Russia shows that thermal power plants (TPPs) remain the basis of the electric power industry, the share of which in the structure of the installed capacity of the industry remains at the level of 60–70%.

Heavy fuel oil is widely used at major energy facilities as the main or reserve fuel (especially in winter), as well as as a kindling material when commissioning steam boilers. Heavy fuel oil is delivered to thermal power plants and boiler houses mainly by rail in tanks. At the same time, it is known that this type of fuel has high viscosity, for example, the viscosity of water is 1.011 cSt, and the viscosity of M-100 fuel oil at 80 °C is 118 cSt. Therefore, in conditions of low temperatures that occur during the heating season for the northern regions, it creates significant difficulties when draining it from tanks. Fuel oils with the highest viscosity solidify at 25 °C, so they need to be heated to a temperature  $t = 60-70$  °C, which allows pumping of the product [2, p. 18].

The most appropriate delivery of heating oil is in tanks equipped with steam jackets in the drainage device and in the lower part of the tank. The design of such tanks was developed by the Central Scientific Research Institute

of the Ministry of Railways. Residue-free drainage of fuel oil from a 60-ton tank equipped with a steam jacket is ensured in 4 hours instead of 10–14 hours, the specific steam consumption for drainage is reduced by an average of 2 times, watering of the fuel is eliminated, and the useful capacity of fuel oil storage facilities increases by 5–10%; Labor-intensive manual cleaning of tanks from fuel oil residues significantly increases productivity and improves working conditions for unloading fuel.

It must be said that the main problems that arise when using fuel oil at thermal power plants include its heating, which can be produced by steam, hot water, electricity and other methods. For example, vibration fuel oil heaters make it possible to increase the heat transfer coefficient by approximately 20 times compared to the coefficient for a stationary surface. The duration of heating fuel oil at 60 °C in a 50 m<sup>3</sup> tank is 3.5 hours, the thermal power is about 0.4 Gkcal/h, the steam drive power is 4.8 kW, the heating surface of the heater is 5.65 m<sup>2</sup>, the vibration speed is 0.83 m/ sec.

At GRES-1 Lenenergo power station, heating of heavy fuel oil using the method of electrical induction losses has been developed and implemented, the main advantage of which is the elimination of watering of fuel oil, the reduction of draining time to 4–6 hours, and the elimination of hard labor for manual cleaning. The electrical power of this installation is 160 kW. The development of devices for heating tanks using infrared rays by pumping hot fuel oil is promising.

Some acceleration of heating with “open” steam is achieved by using steam with increased parameters – pressure up to 6-8 kgf/cm<sup>2</sup>, preferably slightly overheated, up to 200°C. Good thermal insulation of steam supply lines and properly organized drainage help reduce fuel oil watering and accelerate heating [3, p. 370].

Unfortunately, using steam has significant disadvantages:

Fuel oil watering. Water in the form of lenses or bags is unevenly distributed throughout the entire mass of fuel oil, which leads to a sharp deterioration in the conditions of its combustion.

"Aging" of fuel oil. During long-term storage, light fractions evaporate from fuel oil, which leads to an increase in its viscosity and flash point. As a rule, after two to three years of storage, high-quality combustion of such fuel oil becomes almost impossible and it must be replaced with fresh one, which is not economically profitable.

In some cases, the technical condition of the fuel oil treatment system does not allow heating the fuel oil to the temperature required for combustion, at least 90°C. Known nozzles do not provide the necessary atomization of fuel oil,

which leads to large chemical and mechanical underburning of fuel, and ultimately excessive fuel consumption [4, p. 143].

Currently, one of the effective and simple methods of preparing fuel oil for combustion is the use of special chemicals and compounds, so-called additives. Fuel oil additives have different purposes and compositions. For example, in order to improve combustion processes and increase the corrosion stability of fuel, additives based on magnesium, manganese, silicon and aluminum are used abroad for heavy fuels [5, p. 206]. Therefore, the development of new heating methods is a very urgent task and requires close study.

### **Источники**

1. Зверева Э.Р., Фарахов Т.М. Энергоресурсосберегающие технологии и аппараты ТЭС при работе на мазутах: монография / Под ред. А.Г. Лаптева. – М.: «Теплотехник», 2012. – 181 с.

2. Зверева Э.Р. Ресурсо-, энергосберегающие технологии в мазутных хозяйствах тепловых электрических станций: Монография. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. – 184 с.

3. Мутугулина И.А. Пути решения проблем при использовании мазута / И.А. Мутугулина // Вестник Казанского технологического университета. – Казань. – 2012. Т.15. №10. – С. 369-371.

4 Гуд С.К., Николичев А.Н. Опыт применения электрообогрева мазутопроводов, как энергосберегающей альтернативы традиционным пароспутникам / С.К. Гуд, А.Н. Николичев // Новости теплоснабжения. – Москва. – 2012. №06 (142). С. 142-145.

5. Данилов А.М. Применение присадок в топливах: Справочник. – 3-е изд., доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2010. – 368 с.

УДК 532.526

## **ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ ОТ ПЛАСТИНЫ ДО НАЧАЛА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОТОЧЕК МУЛЬТИВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ**

Арслан Маратович Мугинов

Науч. рук.канд. техн. наук. Вадим Эдуардович Зинуров

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

aqwewerr@gmail.com

**Аннотация.** В статье показаны результаты математического моделирования газодинамических процессов, протекающих в мультивихревом классификаторе.

**Ключевые слова:** моделирование, фракционирование, мультивихревой классификатор, модель, мелкодисперсные частицы.

## **THE EFFECT OF THE DISTANCE FROM THE PLATE TO THE BEGINNING OF THE VERTICAL CHANNELS OF THE MULTI-VORTEX CLASSIFIER ON THE EFFICIENCY OF PARTICLE CAPTURE**

Arslan M. Muginov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aqwewerr@gmail.com

**Abstract.** The article shows the results of mathematical modeling of gas-dynamic processes occurring in a multi-vortex classifier.

**Keywords:** modeling, fractionation, multi-vortex classifier, model, fine particles.

В работах [1-3] показано, что на сегодняшний день проблема классификации мелкодисперсных частиц является актуальной. Аппарат, представленный в работе [4], предназначен для выведения фракции мелкодисперсных частиц силикагеля до 40 мкм. Однако проблема повышения селективности фракции остаётся актуальной.

В данной статье приведены результаты математического моделирования газодинамических процессов, протекающих в классификаторе при разных скоростях подачи воздушного потока с содержанием мелкодисперсных частиц силикагеля. Математическое моделирование производилось на основе 3D модели классификатора [5] с изменённым расстоянием между нижней плоскостью пластины с отверстиями и началом вертикальных протоков внутреннего патрубка  $h_2$  (см. рисунок 1).

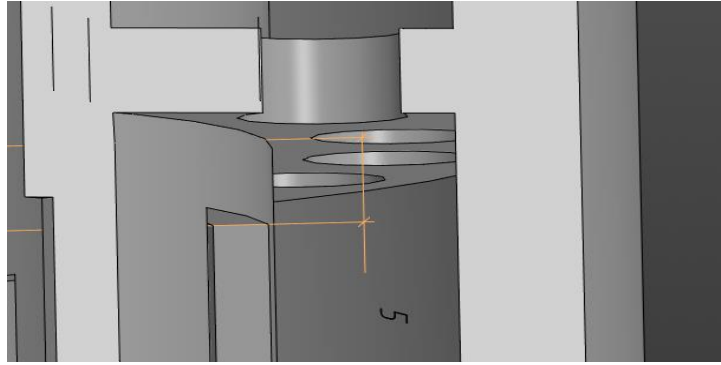


Рис. 1. Цифровая модель мультивихревого классификатора в разрезе

Особенностью мультивихревого классификатора является использование воздушных завихрений для отделения нужной фракции частиц. На процесс формирования завихрений напрямую влияют размеры и формы вертикальных проточек во внутреннем патрубке.

Параметр  $h_2$  задавался 5 мм, а  $h_1$  58 мм. При математическом моделировании в ПО Ansys Fluent частиц задавались как твёрдые объекты с плотностью  $1075 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Для выявления зависимости эффективности улавливания частиц классификатором от их дисперсности задавались размеры частиц силикагеля от 5 до 100 мкм с шагом 5 мкм. Скорость подачи воздушного потока задавалась 8 м/с, 12 м/с, 16 м/с. Результаты математического моделирования представлены на графике (см. рисунок 2).

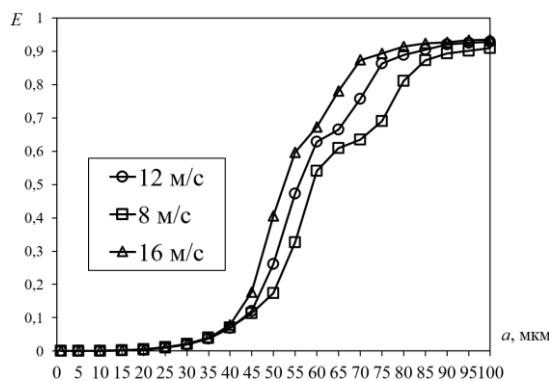


Рис. 2. График зависимости эффективности улавливания частиц силикагеля  $E$  от их дисперсности  $a$

Результаты математического моделирования дают возможность определить влияние размера вертикальных проточек внутреннего патрубка мультивихревого классификатора на эффективность улавливания мелкодисперсных 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. Газодинамика проточной части классификатора с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, И. И. Насырова, О. С. Дмитриева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 71-76.
4. Зинуров, В. Э. Техничко-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора / В. Э. Зинуров, А. Р. Галимова, И. Г. Ахметова, И. Н. Мадышев // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2022. – № 7. – С. 33-44.
5. Зинуров, В. Э. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля / В. Э. Зинуров, И. Н. Мадышев, А. Р. Ивахненко, И. В. Петрова // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 205-211.

УДК 532.526

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ОТВЕРСТИЙ В ПЛАСТИНЕ МУЛЬТИВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ**

Арслан Маратович Мугинов

Науч. рук.канд. техн. наук. Вадим Эдуардович Зинуров

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

aqwewerr@gmail.com

**Аннотация:** В статье отражены результаты математического моделирования газодинамических процессов, происходящих во время работы мультивихревого классификатора.

**Ключевые слова:** моделирование, фракционирование, мультивихревой классификатор, модель, мелкодисперсные частицы.

## **THE EFFECT OF THE SIZE OF THE HOLES IN THE PLATE OF THE MULTI-VORTEX CLASSIFIER ON THE EFFICIENCY OF PARTICLE CAPTURE**

Arslan M. Muginov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aqwewerr@gmail.com

**Abstract.** The article reflects the results of mathematical modeling of gas-dynamic processes occurring during the operation of a multi-vortex classifier.

**Keywords:** modeling, fractionation, multi-vortex classifier, model, fine particles.

Проблема сепарации мелкодисперсных частиц с высокой селективностью является на сегодняшний день актуальной, что отражено в работах [1-3]. Существует аппарат, представленный в работе [4], предназначенный для выведения фракции мелкодисперсных частиц силикагеля до 40 мкм. Тем не менее, проблема повышения чистоты фракции, получаемого продукта сохраняет актуальность.

В данной статье представлены результаты математического моделирования газодинамических процессов в классификаторе [5] с изменённым диаметром отверстий пластины (см. рисунок 1).

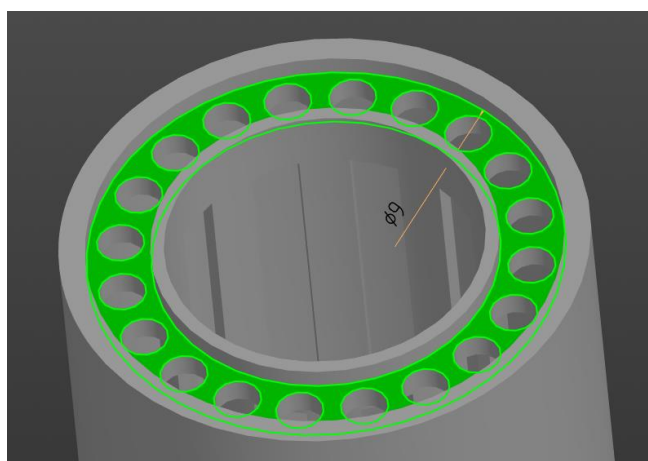


Рис. 1. Цифровая модель мультивихревого классификатора в разрезе



Диаметр отверстия увеличен до 10 мм. Конструкционное изменение мультивихревого классификатора позволяет оценить тенденцию изменения формирования графика эффективности улавливания мелкодисперсных частиц. Размер отверстия в пластине влияет на процесс формирования завихрений, посредством которых и ведётся классификация частиц силикагеля. Процесс создания цифровой модели происходил по средствам САПР КОМПАС-3D. Математическое моделирование производилось в ПО Ansys Fluent. В качестве модели частиц задавались твёрдые частицы с плотностью  $1075 \text{ м}^3/\text{кг}$  и размерами от 5 до 100 мкм с шагом 5 мкм. В качестве газа выбран воздух со скоростями подачи 8, 12, 16 м/с. Результаты математического моделирования представлены на графике (см. рисунок 2).

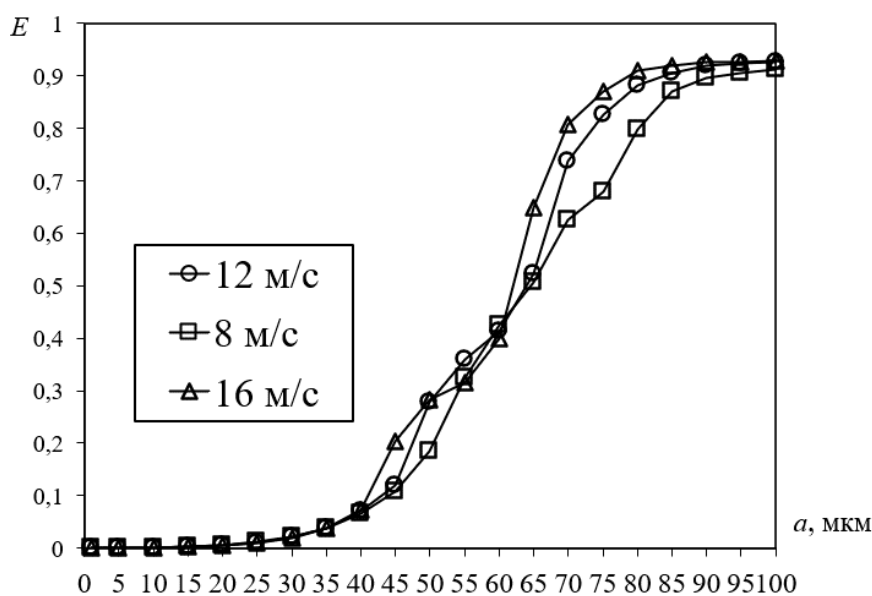


Рис. 2. График зависимости эффективности улавливания частиц силикагеля  $E$  от их дисперсности  $a$

Результаты математического моделирования позволяют определить влияние диаметра отверстия пластины на эффективность улавливания мелкодисперсных частиц. Дальнейшее исследование зависимости геометрии модели мультивихревого классификатора и эффективности работы данного аппарата позволит сформировать базу данных, необходимую для проектирования мультивихревого классификатора для работы при разных условиях функционирования технологической линии.

### Источники

1. Дмитриев, А. В. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата / А. В. Дмитриев,

В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, В. Л. Нгуен // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – Т. 10. – № 1(37). – С. 74-81.

2. Зинуров, В. Э. Промышленные испытания фракционирования сыпучего материала в мультивихревом классификаторе-сепараторе / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, К. С. Моисеева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 58-63.

3. Зинуров, В. Э. Газодинамика проточной части классификатора с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, И. И. Насырова, О. С. Дмитриева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 71-76.

4. Зинуров, В. Э. Техничко-экономическое обоснование применения мультивихревого классификатора-сепаратора / В. Э. Зинуров, А. Р. Галимова, И. Г. Ахметова, И. Н. Мадышев // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2022. – № 7. – С. 33-44.

5. Зинуров, В. Э. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля / В. Э. Зинуров, И. Н. Мадышев, А. Р. Ивахненко, И. В. Петрова // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 205-211.

УДК 532.526

## **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОТОЧЕК МУЛЬТИВИХРЕВОГО КЛАССИФИКАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ**

Арслан Маратович Мугинов

Науч. рук.канд. техн. наук. Вадим Эдуардович Зинуров

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

aqwewerr@gmail.com

**Аннотация.** В статье показаны результаты математического моделирования газодинамических процессов, протекающих в мультивихревом классификаторе.

**Ключевые слова:** моделирование, фракционирование, мультивихревой классификатор, модель, мелкодисперсные частицы.

# THE EFFECT OF THE SIZE OF THE VERTICAL DUCTS OF THE MULTI-VORTEX CLASSIFIER ON THE EFFICIENCY OF PARTICLE CAPTURE

Arslan M. Muginov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

aqwewerr@gmail.com

**Abstract.** The article shows the results of mathematical modeling of gas-dynamic processes occurring in a multi-vortex classifier.

**Keywords:** modeling, fractionation, multi-vortex classifier, model, fine particles.

На сегодняшний день вопрос фракционирования мелкодисперсных частиц является актуальным, что подтверждается в работах [1-3]. В работе [4] представлен аппарат необходимый для классификации мелкодисперсных частиц с граничным зерном 40 мкм. Однако проблема повышения селективности целевой фракции остаётся актуальной.

Основной задачей данного исследования является выявление зависимости между конструкционными и техническими характеристиками мультивихревого классификатора. Для решения этой задачи проведено 3D проектирование аппарата, представленного в работе [5] с изменёнными параметрами вертикальных проточек (см. рисунок 1).

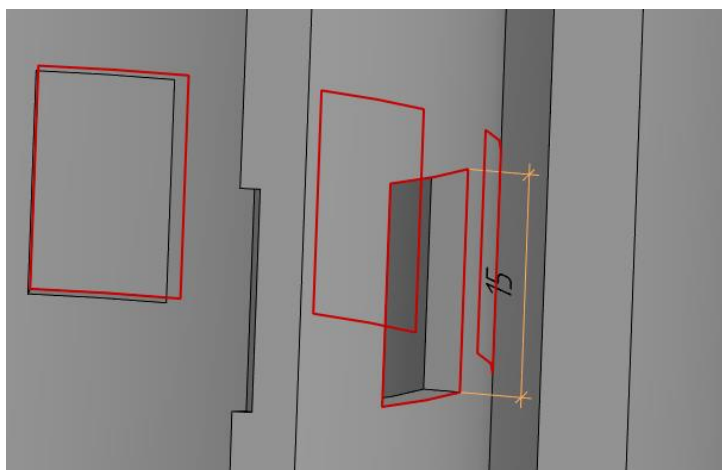


Рис. 1. Цифровая модель мультивихревого классификатора в разрезе

Мультивихревой классификатор выполняет свою функцию за счёт воздушных завихрений, образующихся посредством вертикальных проточек внутреннего патрубка. Поэтому геометрические характеристики

вышеупомянутых проточек напрямую влияют на эффективность работы рассматриваемого аппарата.

Размер  $h_1$  изменялся относительно центра вертикальных проточек оригинального аппарата. Параметр  $h_1$  задавался 15 мм. Далее проведено математическое моделирование газодинамических процессов в мультивихревом классификаторе, для получения графика зависимости эффективности улавливания частиц  $E$  от размерности частиц  $a$  (см. рисунок 2). Скорость подачи воздушного потока задавались 8, 12, 16 м/с. Размер частиц задавался от 5 до 100 мкм с шагом 5 мкм, а их плотность задавалась 1075 м<sup>3</sup>/кг, что соответствует плотности силикагеля. Математическое моделирование произведено в ПО Ansys Fluent.

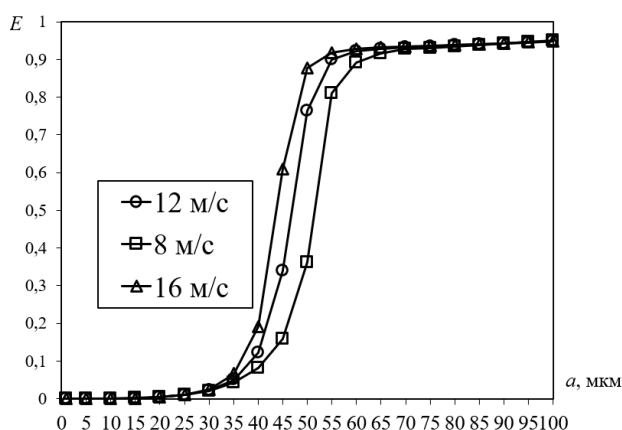


Рис. 2. График зависимости эффективности улавливания частиц силикагеля  $E$  от их дисперсности  $a$

Результаты математического моделирования дают возможность определить влияние размера вертикальных проточек внутреннего патрубка мультивихревого классификатора на эффективность улавливания мелкодисперсных частиц. Последующее исследование зависимости геометрии модели мультивихревого классификатора и эффективности работы этого аппарата даст возможность проектирование наиболее эффективного мультивихревого классификатора для функционирования в рамках каждой конкретной технологической линии.

### Источники

1. Дмитриев, А. В. Эффективность прямоугольного сепаратора в зависимости от оформления элементов внутри аппарата / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, В. Л. Нгуен // Вестник Казанского

государственного энергетического университета. – 2018. – Т. 10. – № 1(37). – С. 74-81.

2. Зинуров, В. Э. Промышленные испытания фракционирования сыпучего материала в мультивихревом классификаторе-сепараторе / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, К. С. Моисеева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 58-63.

3. Зинуров, В. Э. Газодинамика проточной части классификатора с соосно расположенными трубами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, И. И. Насырова, О. С. Дмитриева // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 71-76.

4. Зинуров, В. Э. 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.

5. Зинуров, В. Э. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля / В. Э. Зинуров, И. Н. Мадышев, А. Р. Ивахненко, И. В. Петрова // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 205-211.

УДК 613.648.4

## **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Максим Игоревич Якунькин

Науч. рук. кан. тех. наук, доц. Ринат Нургалиевич Закиров

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

hanter372mi@mail.ru

**Аннотация.** в статье рассматриваются виды ионизирующего излучения, влияние на различные конструкционные материалы, которые используются для создания энергоблоков атомных станций и других предприятий.

**Ключевые слова:** нейтрон, конструкционные материалы, излучение, энергия.

## **EFFECT OF IONIZING RADIATION ON STRUCTURAL MATERIALS**

Maxim I. Yakunkin

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

hanter372mi@mail.ru

**Abstract.** The article considers types of ionizing radiation, the effect on various structural materials that are used to create power units of nuclear power plants and other enterprises.

**Keywords:** neutron, structural materials, radiation, energy.

В последние десятилетия атомная энергетика стремительно набирает обороты, тем самым в ближайшее время может занять лидирующую позицию в энергосистеме. Однако, ключевой проблемой данной промышленности является ионизирующее излучение, которое так или иначе, негативно влияют на конструктивные материалы, из которого были сделаны реакторы для АЭС.

В целом радиация существовала с человечеством всегда, но понятие началось с ее обнаружения в 1895 году, когда Вильгельм Конрад Рентген во время экспериментов с электронно-лучевыми трубками, открыл икс-излучение, которые позже были названы в честь ученого — рентгеновское излучение. А к концу 19 века Эрнест Резерфорд смог открыть излучения: обладающее положительным зарядом — альфа-лучи, отрицательным — бета-лучи, нейтральным — гамма-лучи.

На данный момент известно всего 5 видов ионизирующего излучения, характеристика которых представлена в таблице 1.

Таблица 1 Виды ионизирующего излучения

Вид ионизирующего излучения	Описание	Причина возникновения	Проникающая способность
Альфа-излучение	Тяжелая положительная заряженная частица, образованная двумя протонами и двумя нейтронами.	В результате альфа-распада атомов тяжелых элементов.	Не более пяти сантиметров в воздухе.
Бета-излучение	Отрицательно заряженный электрон, который значительно меньше альфа-частиц.	В результате бета-распада.	1–2 сантиметра воды, не способен пройти через тонкий лист металла или стекло.
Гамма-излучение	Фотон, электромагнитная волна, несущая	Возникает при распаде возбужденных	Проходит большие расстояния, постепенно теряя

	энергию.	состояний ядер.	энергию в результате столкновений с атомами среды.
Рентгеновское излучение	Аналогично гамма-излучению, но оно получается искусственным путём.	Получается искусственно в рентгеновской трубке.	
Нейтронное излучение	Состоит из свободных нейтронов.	Образуется в процессе деления атомного ядра.	Обладает высокой проникающей способностью, можно остановить толстым бетонным.

Серьёзное воздействие на конструктивные материалы может оказать нейтронное излучение, так как огромные нейтронные потоки за счет своей энергии возбуждают атомы и усиливают их колебания, что сопровождается локальным повышением температуры.

Примеры изменения свойств некоторых материалов под действием нейтронного облучения приведены в таблице 2 [1].

Таблица 2. Изменения свойств некоторых материалов под действием нейтронного облучения

Интегральный поток быстрых нейтронов, см <sup>-2</sup>	Материал	Последствия облучения
10 <sup>14</sup> –10 <sup>15</sup>	Политетрафторэтилен и полиметилметакрилат	Снижение прочности при растяжении
10 <sup>16</sup>	Каучук	Снижение эластичности
10 <sup>17</sup>	Органические жидкости	Газовыделение
10 <sup>18</sup> –10 <sup>19</sup>	Металлы	Заметный рост предела текучести
10 <sup>20</sup>	Керамические материалы	Уменьшение теплопроводности, плотности, кристалличности
	Все пластмассы	Непригодны в качестве конструкционного материала
	Углеродистые стали	Значительное снижение пластичности, удвоение предела текучести
10 <sup>20</sup> –10 <sup>21</sup>	Коррозионностойкие	Увеличение предела текучести

	стали	
$10^{21}$	Алюминиевые сплавы	Снижение пластичности

Таким образом, различные интегральные потоки могут серьёзно повлиять на конструктивные особенности различных видов материалов. При этом влияние нейтронного облучения может быть так и положительным, так и отрицательным. Одним из примеров является тот факт, что при незначительном дефекта кристаллической решетки у металла, может привести к упрочнению, но при этом снижается пластичность. Данные явления зависят от радиационной стойкости материалов, который определяет степень допустимого поглощения нейтронами материала, при этом сохраняя свои свойства и структуры.

### Источники

1. Воздействие нейтронного облучения на различные материалы [Электронный ресурс]. <https://lektsii.org/15-50091.html> (дата обращения: 01.11.23).



## Секция 7. Экологические проблемы водных биоресурсов

УДК 574.586

### СОРЕПОДА В СОСТАВЕ БИОЦЕНОЗА БИОФИЛЬТРА РЫБОВОДНОЙ УСТАНОВКИ НА КАФЕДРЕ ВБА

Екатерина Алесеевна Васильева<sup>1</sup>, Мадина Фархадовна Хамитова<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>vasilievakaterina2003@mail.ru

**Аннотация.** В работе описаны качественные и количественные характеристики представителей подкласса Copepoda в составе гидробиоценоза биологического фильтра малой рыбоводной установки на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

**Ключевые слова:** биофильтр, Copepoda, циклопы, гидробиоценоз, УЗВ, веслоногие ракообразные.

### COPEPODA AS A PART OF COMPOSITION OF THE BIOCENOSIS OF THE BIOFILTER OF THE RESIRCULATING AQUACULTURE SYSTEM AT THE DEPARTMENT OF VBA

Ekaterina A.Vasileva<sup>1</sup>, Madina F. Khamitova<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>vasilievakaterina2003@mail.ru

**Abstract.** The work describes the qualitative and quantitative characteristics of representatives of the subclass Copepoda as part of the hydrobiocenosis of the biological filter of a recirculating aquaculture system at the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture of Kazan State Energy University.

**Keywords:** biofilter, Copepoda, Cyclopidae, hydrobiocenosis, RAS.

На сегодняшний день приоритетным направлением в развитии аквакультуры является развитие установок замкнутого водоснабжения (УЗВ). Принцип работы УЗВ основан на очищении загрязненной воды с помощью фильтров (механических и биологических) с целью экономии свежей воды [1]. Биологический фильтр (биофильтр) — сооружение с загрузочным материалом (биоагрузкой) через который происходит

фильтрация воды с помощью микроорганизмов, потребляющих органические и некоторые неорганические вещества [2].

Изучение биоценоза биофильтра позволит оценить состояние его работы и определить качество циркулирующей в УЗВ воды.

Циклопы – семейство подкласса Веслоногих (Copepoda) рачков. По последним данным в состав семейства на территории Европы и стран бывшего СССР входит примерно 125 видов [3].

Для работы пробы отбирались в поверхностном слое биофильтра, установленного на УЗВ-2 кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ». Объем пробы загрузки составлял 100мл. Следует отметить, что представители данной группы на кафедре ВБА встречались только в биофильтре УЗВ-2.

Отбор и обработка проб проводились в октябре 2023 года на базе лаборатории кафедры стандартными гидробиологическими методами [4].

Для оценки качественных и количественных показателей веслоногих ракообразных пробы фиксировали 4% раствором формалина, после чего концентрировались до 20 мл и исследовались под микроскопом. В составе зоопланктона были выявлены 4 вида и формы веслоногих рачков (табл.1).

Таблица 1

Виды и формы Веслоногих циклопов в пробах из биофильтра УЗВ-2, 2023г.

<b><u>Виды и формы Copepoda</u></b> <b>Сем. Cyclopidae</b>		<b>Средний размер (мкм)</b>	<b>Численность, тыс. экз. /м<sup>3</sup></b>	<b>Биомасса , г/м<sup>3</sup></b>
1	<i>Eucyclops serrulatus (Fischer, 1851)</i>	850	3800	76
2	<i>Ectocyclops phaleratus (Koch, 1838)</i>	550	5000	50
3	Copepodita	300-400	3200	16
4	Nauplii	140	600	0,6

По численности доминировал *Ectocyclops phaleratus* (Koch, 1838) (см. рис.1). Циклоп в природе обитает в литорали стоячих мелких водоемах, встречается в болотах и редко в ключах. Обитает при pH 5,8-8,6, эвритермичен [5].

По биомассе доминирующим видом был *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851) (см.рис.2). Циклоп в природе встречается в литорали стоячих и текучих водах. Обитает в водах с pH 5,6-9,2. В основном растительноядный [5].

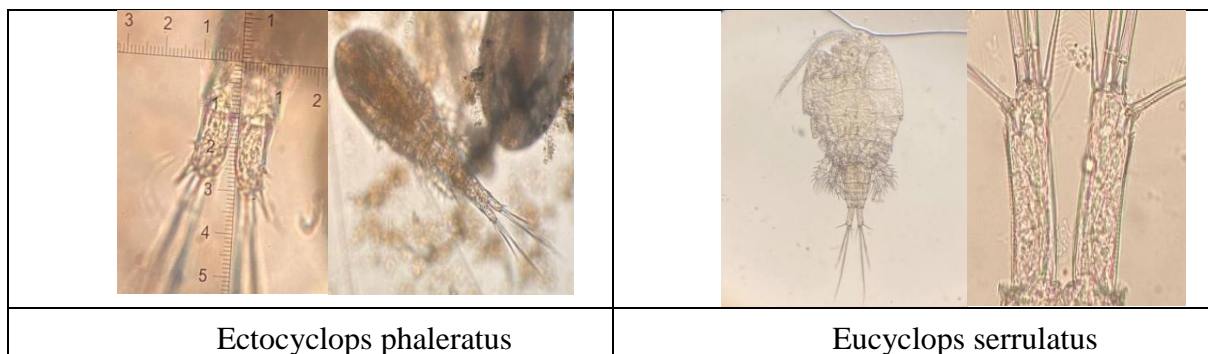


Рис.1 Представители веслоногих ракообразных в составе биоценоза биофильтра на каф. ВБА ФГБОУ ВО «КГЭУ»

Известно, что общая численность циклопов и изменение их возрастного состава служат показателем качества воды: чем меньше отношение числа науплиев к количеству взрослых особей (0,35), тем ниже качество вод. На благополучных станциях, как правило, это отношение составляло 1,24 - 1,60 [6]. С увеличением степени загрязнения снижалась общая численность циклопов.

В условиях биологического фильтра численность старших возрастных групп циклопов значительно превышала численность науплий (рис.11), соотношение составило 0,07.

### Источники

1. Принципы работы УЗВ (Технология УЗВ) / [Электронный ресурс] <https://pro-uzv.ru/blog/368/> (дата обращения: 28.10.2023).
2. Лыкова, О. В., Гогина, Е. С. Биофильтры, их преимущества и недостатки / О. В. Лыкова, Е. С. Гогина // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 114-117.
3. Боголюбов А.С., Кравченко М.В. Атлас-определитель пресноводных беспозвоночных России. Компьютерный интерактивный определитель. М.: Экосистема, 2018.
4. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
5. Вежновец В. В. "Ракообразные (Cladocera, Copepoda) в водных экосистемах Беларуси: каталог. Определительные таблицы". Минск, 2005. 150с.
6. Иванова М.Б. Влияние загрязнения на планктонных ракообразных и возможность их использования для определения степени

загрязнения рек / М.Б. Иванова // Методы биологического анализа пресных вод. Л. 1976. С.68-80.

УДК 612.398

## **ВАЖНОСТЬ РЫБЫ В РАЦИОНЕ ПИТАНИЯ СПОРТСМЕНОВ-ХОККЕИСТОВ**

Данил Николаевич Жаров<sup>1</sup>, Мария Эдуардовна Гордеева<sup>2</sup>

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

gordeeva.me@kgeu.ru

**Аннотация.** В работе приводится олимпийская классификация видов спорта и показана важность ациклических упражнений при подготовке спортсмена. При этом на основе федерального стандарта спортивной подготовки хоккеиста видна первостепенная роль восстановительных мероприятий, в основе которых лежит и рациональное питание, а именно белковое. Рассчитано, что для хоккеистов необходимо употреблять примерно 350 г лосося или тунца в день, что обеспечит от 82,5 г до 89,6 г протеина.

**Ключевые слова:** белок, рацион питания, восстановительные мероприятия, лосось, тунец.

## **IMPORTANCE OF FISH IN THE DIETS OF HOCKEY ATHLETES**

Danil N. Zharov<sup>1</sup>, Maria E. Gordeeva<sup>2</sup>

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

gordeeva.me@kneu.ru

**Abstract.** The work describes the Olympic classification of sports and shows the importance of acyclic exercises in preparing an athlete. At the same time, based on the federal standard for sports training of a hockey player, the primary role of rehabilitation measures is visible, which is based on rational nutrition, namely protein. It is calculated that hockey players should consume approximately 350g of salmon or tuna per day, which will provide between 82.5g and 89.6g of protein.

**Key words:** protein, diet, rehabilitation measures, salmon, tuna.

Согласно олимпийской квалификации, основанной на учете основных закономерностей соревновательной и тренировочной деятельности, все виды спорта делятся на 6 групп: циклические виды

спорта; скоростно-силовые виды; сложно-координационные виды; единоборства; спортивные игры; многоборья. Согласно данной классификации, хоккей относится к 5 группе – спортивные игры. В зависимости от структуры движения большинство выполняемых спортсменом в хоккее упражнений относятся к упражнениям ациклического характера, то есть структура движений не имеет стереотипного цикла и изменяется в ходе их выполнения.

Согласно федеральному стандарту спортивной подготовки по виду спорта «хоккей» (№997 от 16.11.2022 г.) [1] для спортсменов, находящихся даже на начальном этапе подготовки и тренирующихся свыше 1 года на первое место выходит медико-биологические, восстановительные мероприятия, на 2 месте по важности техническая подготовка. Таким образом, перед тренером стоит задача наращивания мышечной массы спортсмена, уменьшения жира, повышения скоростных качеств, ускорения восстановительных процессов – все это возможно в том числе благодаря составлению правильного рациона питания, даже молодого спортсмена.

Для достижения результативности в технической подготовке организм должен иметь достаточный запас энергии, источником которой являются углеводы. Для достижения результативности в восстановительных мероприятиях организм должен потреблять белки – протеин, именно протеин служит источником восстановления и наращивания мышечной массы. Избыточный протеин накапливается в виде жира, поэтому необходимо правильно подбирать соотношение продуктов в суточном рационе. Оптимальное количество углеводов 60-65%, при этом количество белков как источника аминокислот – 15-20% [2]. 1 грамм протеина = 4 калориям. Для профессиональных хоккеистов, потребляющих 3500 калорий, рекомендуется 131-175 грамм протеина в день или 1,5-2 г/кг веса [3].

Наиболее подходящими рыбопродуктами для восполнения суточной нормы протеина является лосось и тунец. 100 г тунца – это 23,5 г высококачественного протеина; 100 г лосося – это 25,6 г высококачественного протеина [3]. Употреблять рыбу рекомендуется на обед или на удин, когда количество потребляемых углеводов должно сокращаться и начинается время тихой белковой пищи. Тунец, как и лосось содержит витамины группы В и D, является источником селена, содержит ненасыщенные жирные кислоты, которые помогают предотвратить заболевания сердечно-сосудистой системы. Таким образом, вы можете чередовать их в рационе спортсмена.

Для удовлетворения в суточной норме в 150 г протеина [4-5] необходимо, к примеру, употребить:

- туец 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.

Таким образом, выявлена необходимость регулярного употребления рыбы в рационе питания спортсменов-хоккеистов для восстановительных мероприятий и поддержания суточной нормы белковой пищи. Ежедневное употребление профессиональным взрослым спортсменом рыбы должно быть в количестве примерно 350 г.

### **Источники**

1. Приказ об утверждении федерального стандарта спортивной подготовки по виду спорта «хоккей» № 997 от 16.11.2022. – М: Минспорт России. – 25 с.

2. Официальный магазин спортивного питания [Электронный ресурс].  
[https://www.spbgel4u.ru/news/osnovy\\_pitaniya\\_sportsmenov\\_raznykh\\_vidov\\_sporta/](https://www.spbgel4u.ru/news/osnovy_pitaniya_sportsmenov_raznykh_vidov_sporta/) (дата обращения: 22.10.2023)

3. Рациональное питание хоккеиста [Электронный ресурс].  
<https://fhr.ru/upload/iblock/78e/Ratsionalnoe-pitanie-khokkeista-broshyura.pdf> (дата обращения: 29.10.2023)

4. Токаев Э.С., Хасанов А.А. Методология создания индивидуализированных рационов питания спортсменов // Вестник спортивной науки. 2011. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodologiya-sozdaniya-individualizirovannyh-ratsionov-pitaniya-sportsmenov> (дата обращения: 20.10.2023).

5. Карпенко Л.З., Косолапов О.Н., Сахатский С.И. Оценка суточного рациона питания спортсменов по мини- футболу на примере команд города Кургана и города Муравленко // Вестник Курганского государственного университета. 2006. №2 (6). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-sutochnogo-ratsiona-pitaniya-sportsmenov-po-mini-futbolu-na-primere-komand-goroda-kurgana-i-goroda-muravlenko> (дата обращения: 20.10.2023).

## ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЦЕНОЗА БИОФИЛЬТРА МАЛОЙ УЗВ КАФЕДРЫ ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И АКВАКУЛЬТУРЫ НА РАЗНЫХ ГЛУБИНАХ

Гулназ Данисовна Ибрагимова<sup>1</sup>, Мадина Фархадовна Хамитова<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>gulnaz.ibragimova777@gmail.com, <sup>2</sup>it-sk@bk.ru

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены структура и соотношение групп в перифитоне биофильтра рыбоводной установки с замкнутым циклом водоснабжения на разных глубинах. Определены количественные показатели перифитона биологического фильтра УЗВ.

**Ключевые слова:** установка замкнутого водообеспечения, биологический фильтр, перифитон, биоценоз.

## STUDY OF THE BIOCENOSIS OF THE BIOFILTER OF A RAS OF THE DEPARTMENT OF AQUATIC BIORESOURCES AND AQUACULTURE

Gulnaz D. Ibragimova<sup>1</sup>, Madina F. Khamitova<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>gulnaz.ibragimova777@gmail.com, <sup>2</sup>it-sk@bk.ru

**Abstract.** In this paper, the structure and ratio of groups in the periphyton of the biofilter of a recirculating aquaculture system (RAS) at different depths are considered. Quantitative indicators of periphyton of the biological filter of a RAS are determined.

**Keywords:** recirculating aquaculture system, biological filter, periphyton, biocenosis.

Из-за сокращения уловов в мировом океане аквакультура развивается быстрыми темпами [1]. В настоящее время наиболее эффективным методом выращивания рыбы и других водных организмов является использование установки с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) [2,3]. Ключевым элементом для работы циркуляционной системы (УЗВ) является благополучие биоценоза биофильтра, определяющее эффективность очистки воды от метаболитов рыб [4].

Изучение перифитона в биофилт্রে рыбководной установки на кафедре "Водные биоресурсы и аквакультура" ФГБОУ ВО "КГЭУ" представляет большой интерес с этой точки зрения.

Для исследования гидробиоценоза биофилтра использовалось устройство для отбора гидробиологических проб перифитона в условиях работающих биофилтров рыбководных установок замкнутого водооборота [5], позволяющая фиксировать пластины на разных глубинах.

Для анализа биоценоза биофилтра УЗВ-2 кафедры Водные биоресурсы и аквакультура ФГБОУ ВО «КГЭУ» 1 марта 2022 г в биофилтре была установлена конструкция для фиксации пластины на разных глубинах. На глубинах 10, 40 и 75 см были установлены по две пластины, в связи изменением уровня воды в биофилтре в течение суток и понижением уровня в ночное время глубина погружения менялась в диапазоне  $\pm 5$  см. В качестве пластин использовались предметные стекла. Время экспозиции стекол составило 15 суток. После изъятия конструкции из биофилтра для каждого уровня на поверхности стекол: первого направленной вверх, второго направленной вниз, проводились идентификация видов, замеры их размеров и подсчет на фиксированной площади.

Идентификация видов проводилась путем микроскопирования на предметном стекле. Для определения количественных показателей подсчет организмов проводился на  $1 \text{ см}^2$  пластики. Размеры организмов измерялись с помощью окуляр-микрометра. Биомасса определялась приравниванием объектов к объемным геометрическим фигурам.

В период исследования в установке содержались тилляпии, карпы кои, клариевые сомы, караси, красноклешневые раки. Объем биофилтра -  $0,8 \text{ м}^3$ , заполнен смешанной плавающей пластиковой загрузкой. Скорость водоподачи - 1 л/с, проточность - 4 раза в час.

В перифитоне биофилтра УЗВ кафедры Водные биоресурсы и аквакультура, были встречены 26 вида и формы организмов, относящиеся к следующим систематическим группам: растительные жгутиконосцы, настоящие амёбы, инфузории, гастротрихи, коловратки, плоские черви и олигохеты. Наиболее разнообразной в видовом отношении группой были инфузории, на разных уровнях на них приходилось от 54,5% до 72,7% встреченных видов и форм.

Наблюдалось различие в видовом составе связанное, как с разными глубинами экспозиции, так и направлением размещения пластинок. Коэффициент видового сходства Жаккара для пластин расположенных вертикально и горизонтально не превышал 0,47. По видовому составу



наиболее сходными были пластины расположенные на глубинах 10 и 35 см, коэффициент Жаккара для пластин направленных вверх составили 0,71, для направленных вниз – 0,69.

Численность перифитона на пластинках варьировала от 4,8 тыс. экз/м<sup>2</sup> до 45,0 тыс. экз/м<sup>2</sup>. Наибольшие значения отмечались на глубине 75 см, наименьшие в среднем слое. По численности на всех пластинках доминировали инфузории.

Биомасса перифитона на пластинках варьировала от 3,0 г/м<sup>2</sup> до 61,2 г/м<sup>2</sup>. Следует отметить, что на всех уровнях биомасса на пластинках направленных вниз была значительно больше. Наиболее крупные представители биоценоза малощетинковые черви (*Oligicheta*) встречались только на пластинках направленных вниз. Численность и биомасса коловраток так же была значительно выше на пластинках направленных вниз. На всех пластинах направленных вверх по биомассе доминировали плоские черви (*Turbellaria*), направленных вниз – малощетинковые черви (*Oligicheta*).

Исследование показало, что для полноценного исследования необходимо исследовать биоценоз биологических очистных сооружений, как на разных глубинах, так и при разных пространственных расположениях пластин. Качественные и количественные характеристик биоценоза биологического фильтра УЗВ кафедры укажут на исправность его работы.

## Источники

1. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. // Состояние мирового рыболовства и аквакультуры, 2018 - [Электронный ресурс]- URL: <http://aquacultura.org/upload/files/pdf /library/fao/Состояние202018.pdf> (дата обращения: 20.02.2020).

2. Калайда М.Л., Борисова С.Д., Хамитова М.Ф., Калайда А.А. Воспроизводство стерляди в Поволжском регионе как сложная структурная задача развития аквакультуры // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021, № 01 (180)/2021.- С.8-12.

3. Калайда М.Л., Бабилова В.В. Исследование изменения биообрастаний в биофильтрах малых установок с замкнутым циклом водоснабжения // Матер. междуна. молод. науч. конф. Тинчуринские чтения 2021. Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. Т.2. С.420-424.

4. Kalaida Marina, Khamitova Madina, Kalaida Andrey, Borisova Svetlana, Babikova Valeria. 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>

5. Патент РФ № 2022124046, 12.09.2022. Устройство для отбора гидробиологических проб перифитона в условиях работающих биофильтров рыбоводных установок замкнутого водооборота // Патент России № 215079. 2022. Бюл. № 34. / Калайда Марина Львовна, Хамитова Мадина Фархадовна.

УДК 574.54

## **АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ОПАСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СУДАКЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ РЫБНОЙ СЛОБОДЫ**

Марина Львовна Калайда, Олеся Юрьевна Караганова<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru

**Аннотация.** В статье проведен анализ содержания тяжелых металлов в судаке, пойманном на участке в районе Рыбной Слободы. Показаны изменения содержания токсичных элементов в туше судака. Отмечены факторы, наиболее влияющие на накопление токсичных элементов в рыбе Куйбышевского водохранилища.

**Ключевые слова:** Куйбышевское водохранилище, Волго-Камский плес, уловы, судак, токсичные элементы, свинец, мышьяк, ртуть, кадмий.

## **ANALYSIS OF CONTENT OF DANGEROUS ELEMENTS IN PIKE PERCH OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR ON THE SITE IN THE AREA OF RYBNAYA SLOBODA**

Marina L. Kalaida <sup>1</sup>, Olesia Y. Karaganova<sup>2</sup>

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

kalayda4@mail.ru<sup>1</sup>

**Abstract.** The article analyzes the content of heavy metals in pike perch caught in the area of Rybnaya Sloboda. Changes in the content of toxic elements in the carcass of pike perch are shown. The factors that most influence the accumulation of toxic elements in the fish of the Kuibyshev reservoir are noted.

**Keywords:** Kuibyshev reservoir, Volgo-Kamsky pless, catches, pike perch, toxic elements, lead, arsenic, mercury, cadmium.

Рыбно-Слободский рыбопромысловый участок (РПУ) расположен в Волго-Камском плесе Куйбышевского водохранилища, которое является крупнейшим в Европе [1,3].

Материалом для работы послужили результаты анализов образцов судака (массой по 3 кг) на содержание свинца, мышьяка, кадмия и ртути. Пробы отбирались в весенний период с 2020 по 2023 гг. Анализы проводились в аккредитованных лабораториях города Казани. А именно, ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Татарстан и ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных». Поскольку в последний период отмечается увеличение доли судака в уловах с 5% до 9 % [4, 5], то оценка его безопасности является актуальной.

Уловы судака в Куйбышевском водохранилище на участке в районе Рыбной слободы за последний период (2020-2022 гг., 9 месяцев 2023 г.) представлены на рисунке 1 [2, 6].



Рис.1 Уловы в Куйбышевском водохранилище в пределах Республики Татарстан на участке в районе Рыбной слободы за период с 2020 года по 9 месяцев 2023 года.

В соответствии с гигиеническими требованиями безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (СанПиН 2.3.2.1078-01) в сырой рыбе допустимые уровни составляют: свинца – 1,0, мышьяка – 1,0 для пресноводной и 5,0 для морской рыбы, кадмия – 0,2, ртути в пресноводной нехищной – 0,3, в пресноводной хищной – 0,6 мг/кг (табл.1). Показатели результатов анализа судака на содержание опасных элементов с 2020 г. по 2023 г. представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализов судака на содержание опасных с 2020 по 2023 гг.

Показатели	Ед. изм.	Нормы	2 полугодие 2023 г.	1 полугодие 2023 г.	2022 г.	2021 г.	2020 г.
Свинец	мг/кг	1,000	0,062	0,093	0,02	0,02	0,02
Кадмий	мг/кг	0,200	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001
Мышьяк	мг/кг	1,000	0,055	0,1	0,008	0,01	0,008
Ртуть	мг/кг	0,600	0,0031	0,017	0,002	0,002	0,002

В изученных образцах судака концентрация свинца составила 0,02-0,093 мг/кг, мышьяка – от 0,008 до 0,1 мг/кг, кадмия – от 0,01 до 0,03 и ртути – от 0,002 до 0,017 мг/кг (табл.1). Таким образом, опасные для здоровья элементы не превышали допустимого уровня и рыба считается безопасной для потребления.

Необходимо отметить, что, содержание свинца за анализируемый период увеличилось в 3,1 раза, кадмия в 2 раза, мышьяка 12,5 раз (в сравнении с 1 полугодием 2023 г), ртути в 1,55 раз. Это свидетельствует о необходимости проведения дополнительных исследований по возможным источникам поступления опасных элементов. Например, это может быть связано со сменой объектов потребления, которые являются накопителями элементов. Судак это хищная рыба, и он накапливает в себе разнообразные элементы. Накопление опасных элементов в пищевой цепи может быть связано с ростом и развитием промышленности и развитием сельского хозяйства на территории Рыбно-Слободского района и как усиливающий эту тенденцию момент – высокая температура и низкие уровни воды в последние годы.

### Источники

1. Водохранилища мира. - М.: Наука, 1979.- 287 с.
2. Калайда М.Л. Роль экологических факторов в заболеваемости судака и берша // Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья рыб// Расширенные материалы Всероссийской научно-практической конференции.- М., 2004.- С.487 – 497.
3. Калайда М.Л. История и перспективы развития рыбного хозяйства Татарстана.- Казань: Изд-во «Матбугат йорты», 2001.- 96 с.

4. Калайда М.Л., Шарафутдинов Р.Г. Водные биоресурсы как формируемая компонента экосистемы водохранилищ //XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика, т.2, с.494-496.

5. 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.

6. Калайда М.Л., Караганова О.Ю. Состав ихтиофауны Куйбышевского водохранилища на участке в районе Рыбной Слободы. // XXVI Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика, т.2, с.469-473.

УДК 574.2

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОЛОГИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА МАЛОЙ РЫБОВОДНОЙ УСТАНОВКИ**

Карина Алексеевна Кашина<sup>1</sup>, Мария Эдуардовна Гордеева<sup>2</sup>,  
Мадина Фархадовна Хамитова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

<sup>1</sup>karina4kashina@mail.ru

**Аннотация.** Биофильтр – неотъемлемая часть циркуляционных систем, обеспечивающая требуемое качество воды и эффективную эксплуатацию. Таким образом, комплексная оценка состояния биофильтра позволяет судить о качестве работы всей циркуляционной системы. В работе проанализированы гидрохимические показатели воды (рН, окислительно-восстановительный потенциал, общая минерализация, соленость, электропроводимость) в поверхностном, срединном и придонном слоях, а также качественный и количественный состав биоценоза верхнего слоя биофильтра.

**Ключевые слова:** установка замкнутого водоснабжения, гидрохимические показатели, биоценоз, биофильтр.

# STUDY OF HYDROCHEMICAL AND HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BIOLOGICAL FILTER IN THE SMALL CLOSED WATER SUPPLY SYSTEMS

K.A. Kashina<sup>1</sup>, M.E. Gordeeva<sup>2</sup>, M.F. Khamitova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>karina4kashina@mail.ru

**Abstract.** The biofilter is an integral part of closed water supply systems, ensuring the required water quality and efficient operation. Thus, a comprehensive assessment of the state of the biofilter allows to judge the quality of the entire closed water supply system. The article analyzed hydrochemical characteristics of water (pH, redox potential, total mineralization, salinity, conductivity) in the surface, middle and bottom layers, as well as qualitative and quantitative composition of biocenosis of the upper layer of the biofilter.

**Keywords:** of closed water supply systems, hydrochemical characteristics, biocenosis, biological filter.

Рыбная отрасль является одной из стратегических направлений обеспечения населения продовольственной безопасностью [1, 2]. В настоящее время для увеличения объемов выращивания рыбы эффективно используются установки замкнутого водоснабжения (УЗВ), функционирование которых невозможно без системы биологической фильтрации. Биофильтр – это участок жизнеобеспечения для выращиваемых гидробионтов [3]. Исследования гидрохимических и гидробиологических характеристик биофильтра УЗВ позволяют оценить работу циркуляционной системы и качество очистки воды.

Исследование гидрохимических и гидробиологических характеристик биофильтра малой рыбоводной установки проводилось на базе кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ». Биофильтр представляет собой полимерную ёмкость объёмом 350 литров. В ёмкость загружено 80 л загрузки для биофильтра HEL-X kl 13+, за счёт аэрации организован барботаж в верхней половине толщи воды. Скорость оборота воды в системе составляет 1800 л/ч, таким образом полный объём воды рыбоводной ёмкости проходит через систему биофильтра каждые два часа. Для измерения гидрохимических показателей использовался прибор Hanna HI98195 и капельные тесты Sera; обработка проб гидробиоценоза проводилась стандартными гидробиологическими методами [4].

Результаты исследования выявили пониженные значения pH в сторону закисления среды в верхней части биофильтра, с глубиной значения pH повышались. Окислительно-восстановительный потенциал

(ОВП) – один из перспективных мониторинговых показателей, однако данные по рекомендуемым значениям ОВП для выращивания различных видов гидробионтов отсутствуют, имеется только общий диапазон, благоприятный для содержания рыб в УЗВ – от 150 до 250 мВ [5]. ОВП в малой рыбоводной установке, как и рН, испытывал колебания, но полученные значения лежали в пределах рекомендуемых значений. С глубиной, при приближении к нижнему слою биофильтра наблюдалось снижение значений ОВП. Значения общей минерализации, солености и электропроводимости оставались неизменными во всех слоях биофильтра.

Материалом для описания биоценоза послужила проба поверхности воды. В результате проведенного исследования в составе биоценоза были встречены 18 видов и форм, из которых 10 видов и форм относились к инфузориям, 2 – к жгутиконосцам, 2 – к водорослям, 1 – к амебам, 1 – к червям, 1 – к мшанкам. Кроме того, в составе биоценоза биофильтра встретились цисты микроорганизмов.

Собранные и проанализированные данные гидрохимических и гидробиологических показателей малой рыбоводной установки на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» свидетельствуют об эффективности ее работы и необходимости постоянного аналогичного мониторинга для возможности быстрого реагирования на изменяющиеся условия среды.

### Источники

1. Калайда М.Л. История и перспективы развития рыбного хозяйства Татарстана. – Казань: Изд-во Матбугат йорты, 2001. – 96 с.
2. Калайда М.Л. Современное состояние и задачи развития аквакультуры в Республике Татарстан // Материалы национальной научно-практической конференции «Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны». – Саратов: изд. «Научная книга», 2016. – С.38-45.
3. Калайда М.Л., Хамитова М.Ф., Калайда А.А., Борисова С.Д., Бабинова В.В. Элементы циркуляционных технологий в аквакультуре // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2021. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elementy-tsirkulyarnyh-tehnologiy-v-akvakulture> (дата обращения: 02.11.2023).
4. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
5. Калайда М.Л., Гордеева М.Э. Абиотические факторы среды в классификации вод объектов энергетики для задач аквакультуры // Водные биоресурсы и среда обитания, Т,4, №2, 2021. – С.31-39

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫРАЩИВАНИЯ АЛОЭ (*ALOE ARBORESCENS* Mill.) В АКВАПОНИКЕ

Анастасия Сергеевна Медведева<sup>1</sup>, Светлана Дмитриевна Борисова<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

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность выращивания лекарственного растения алоэ в аквапонической установки, которая сочетает в себе как выращивание лекарственной растительной продукции, так и производство рыбной продукции.

**Ключевые слова:** аквапоника, выращивание рыбы, лекарственные растения, алоэ.

## ALOE GROWING RESEARCH (*ALOE ARBORESCENS* Mill.) IN AQUAPONICS

Anastasia S. Medvedeva<sup>1</sup>, Svetlana D. Borisova<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

**Abstract.** The article discusses the possibility of growing the medicinal plant aloe in an aquaponic installation, which combines both the cultivation of medicinal plant products and the production of fish products.

**Key words:** aquaponics, fish farming, medicinal plants, aloe.

Современные реалии привели к тому, что выращивание лекарственных растений приобрело огромную ценность. Однако эта подотрасль продолжает сталкиваться с трудностями, решение которых может способствовать более выраженной положительной динамике экономического роста. Тот факт, что Россия закупает лекарства из-за границы не мешает развивать экспортные направления для собственной фармпродукции. Одновременно активно растущий спрос на качественное лекарственное растительное сырье, как и в нашей стране, так и за рубежом открывает большие перспективы для развития отрасли [1,2].

Анализ литературы показал, что при разведении теплолюбивых видов рыб: осетр, севрюга, сазан, лещ, судак, тарань, белуга, шип,



стерлядь, вобла и др., возможно выращивание таких растений, как горец почечуйный и росянка круглолистная. При разведении холодолюбивых рыб в аквапонике, выбор лекарственных растений зависит от рН среды. Это связано с тем, что каждый вид растений имеет свои предпочтения по кислотности или щелочности среды, в которой они растут. Учитывая потребности рыб и растений, можно создать устойчивую балансировку среды и обеспечить их оптимальный рост и здоровье. В кислой среде можно выращивать следующие растения: мелисса, череда трехраздельная, валериана лекарственная, сушеница топяная, брусника обыкновенная, голубика, клюква четырехлепестная, подбел многолистный, шалфей, лапчатка белая, копеечник чайный, тысячелистник обыкновенный, багульник болотный, росянка круглолистная, ирис болотный, а также морошка. В щелочной среде - монарда и череда трехраздельная. При рН 6,5-7,5 - мята перечная.

Таким образом, при выборе лекарственных растений для выращивания в аквапонике необходимо учитывать: рН, освещение, химический состав воды, вид рыбы и температуру.

Нами был исследован процесс совместного выращивания лекарственного растения алоэ и клариевого сома.

Растение алоэ имеет характерную форму с прямыми, сочными листьями, собранными в плотные розетки. Листья толстые, мясистые, зеленого цвета с белыми пятнами. Корни алоэ развиты хорошо, проникающие глубоко в почву. Стебли кустарника прочные, прямостоячие, с густыми рядами листьев по всей длине. Они достигают высоты до 60 сантиметров и имеют своеобразные места прикрепления листьев. Алоэ – это растение с прямыми, мясистыми листьями. Их форма может быть разнообразной: от узких и длинных до широких и коротких. Листья имеют насыщенный зеленый цвет, а их поверхность покрыта мелкими шипиками. У некоторых видов алоэ на конце листьев образуется цветочная стрелка с яркими цветками. Цветы могут быть белыми, оранжевыми или красными, а их околоцветник – зеленым или желтым. В результате цветения образуется плод, похожий на коробочку с семенами.

Однако главной ценностью алоэ является его лечебное свойство. Сок этого растения известен своей способностью уничтожать и подавлять размножение множества видов бактерий. Он эффективен в борьбе с инфекционными заболеваниями и имеет противовоспалительное действие. Алоэ является незаменимым компонентом косметических средств для увлажнения и омоложения кожи. Это растение также применяется в народной медицине для лечения ожогов, язв и других повреждений кожи.

Благодаря своим полезным свойствам алоэ является популярным и востребованным растением. [3,4].

Эксперимент по выращиванию алоэ в аквапонике проводился в аквапонической установке кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура», где в качестве объекта аквакультуры выращивается клариевый сом. Рыба с плотностью посадки 11 кг/м<sup>3</sup> выращивается в бассейне объемом 1 м<sup>3</sup>. Осветительная система выполнена в виде стоек и подвесов со светодиодными фитолампами [5]. Все емкости объединены в единую систему, обеспечивающую передачу воды от одних биологических объектов к другим, снабженную датчиками температуры, кислорода, pH и аэратором. Эксперимент по выращиванию алоэ в аквапонической установке проводился при постоянной температуре – 22-24 °С и постоянной влажности – 70-80% в течение 30 суток. Контрольные замеры и визуальный осмотр проводился каждые 5 дней в течение 30 суток. Изменялись такие показатели как длина листа, длина корня, визуально анализировалось состояние растения. В качестве субстрата растений использовалась речная мелкая галька, заложенная в пластиковую емкость, другая контрольная часть растений росла в земле.

Рост алоэ в аквапонике описывается полиномиальной кривой:  $y = -0,0238x^2 + 0,9762x + 4,1429$ , при этом величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9785$ .

Следует отметить, что суккуленты имеют эволюционно приобретенное высокое осмотическое давление в длинных корнях чтобы добывать воду в естественных условиях. Поэтому в аквапонике они не боятся колебаний концентрации солей.

### Источники

1. Энциклопедический словарь лекарственных растений и продуктов животного происхождения [Текст]: учебное пособие / Г.П. Яковлев и К.Ф. Блинова и др. – СПб.: Специальная литература, 1999. – 407 с.
2. Яковлев Г. П. Ботаника: учебник для вузов [Текст] / Г.П. Яковлев, В. А. Челомбитько // Под ред. чл. – корр. РАН, проф. Р.В. Камелина. – СПб.: Спецлит, Издательство СПбХФА, 2001. 680 с.
3. Соколов С.Я. Фитотерапия и фармакология [Текст] / С.Я. Соколов. – Москва: Мед. информ. агентств, 2000. 976 с.
4. Пустырский И.Н. Универсальная энциклопедия лекарственных растений / И.Н. Пустырский, В.Н. Прохоров.– М.: Махаон, 2000. 655 с.

5. Патент на полезную модель №215077. Устройство для выращивания рыбы, раков и растений: № 2022123535 : заявл. 02.09.2022: опубл. 28.11.2022 / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова, С.Д. Борисова, Е.С. Пиганов, Ф.А. Исмагилов, А.А. Калайда; заявитель, патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». – 4с.

УДК 628.3

## ПОЛУЧЕНИЕ ГРАНУЛЯТА ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ИЛОВОГО ОСАДКА

Алия Рунаровна Миниханова<sup>1</sup>

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

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

<sup>1</sup>minihanova2002@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены вопросы образования, обработки и утилизации илового осадка сточных вод. Основываясь на анализе литературных источников, было рассмотрено оптимальное технологическое решение – получение гранулята, который предназначен для уменьшения объема твердого осадка бытовой жизнедеятельности человека.

**Ключевые слова:** вода, водоочистка, очистные сооружения, экология, канализация, гранулят, иловые осадки.

## OBTAINING GRANULATE BY DISPOSAL OF SLUDGE SEDIMENT

Aliya R. Minikhanova<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>minihanova2002@gmail.com

**Abstract.** This article discusses the issues of formation, treatment and disposal of sewage sludge. Based on an analysis of literary sources, the optimal technological solution was considered - the production of granulate, which is intended to reduce the volume of solid sediment from human everyday life.

**Keywords:** water, water treatment, sewage treatment plants, ecology, sewerage, granulate, sludge.

Вода является неотъемлемым составляющим любого живого организма. И в наше время Земля испытывает сильную нехватку чистой воды, поэтому очень важно рационально ее использовать и очищать.

В результате хозяйственно-производственной деятельности человека образуются жидкие отходы в виде сточных вод, которые попадают в канализацию. Чтобы вода обратно стала чистой, вернулась в природу или вновь использовалась человеком, ей необходимо пройти современные стадии переработки бытовых сточных вод на очистных сооружениях.

От работы очистных сооружений образуется иловый осадок, который складывается и хранится на иловых площадках (полях). Осадки сточных вод коммунальных очистных сооружений представляют собой сложную смесь, в которой высокое содержание воды сопровождается наличием биологически безвредных веществ, тесно связанных с загрязняющими, ядовитыми компонентами органического и неорганического характера. Эта смесь, возникающая в процессе обработки сточных вод, требует специального подхода и обращения, поскольку содержащиеся в ней загрязнители могут иметь негативное воздействие на окружающую среду и человеческое здоровье [1]. На иловых полях происходит осушение ила, однако такой метод водоочистки имеет ряд недостатков [2]:

- иловые поля занимают площадь, которая могла использоваться в других целях;
- ресурс ила в полях давно превышен;
- неблагоприятная экологическая ситуация вблизи мест размещения иловых площадок;
- иловый осадок проникает в грунт, тем самым смешивается и отравляет подземные воды;
- законодательством РФ вводятся запреты на использование иловых полей.

Исходя из этого, актуальность решения проблем утилизации осадка сточных вод имеет важное общегосударственное и народнохозяйственное значение и требует немедленного урегулирования. [3]. Иловый осадок можно перерабатывать различными методами.

Мы рассмотрим способ утилизации илового осадка путем превращение его в гранулят. Его преимуществом является экологичность, безопасность и экономичность.

Иловый осадок проходит биологическую и механическую очистку [4]. Он непрерывно и самотеком поступает с очистных сооружений на химическую обработку, где обезвоживается в центрифугах, превращаясь в

пастообразное состояние влажностью 75%. Сырой осадок периодически перекачивается в резервуар, туда же подается технический воздух для перемешивания осадка [5]. Далее обезвоженный осадок проходит термомеханическую обработку в сушильных барабанах, где температура составляет 500 °С. Отфильтрованная вода проходит дополнительную очистку, а высушенный осадок приобретает форму обеззараженного гранулята влажностью 5-10%.

Полученный гранулят компактный, прочный, непористый, обеззараженный и может транспортироваться, обрабатываться и использоваться вторично: в строительстве; для рекультивации земель; в качестве биотоплива.



Рис.1. Гранулят

Таким образом, иловые поля, которые копились в течение десятков лет, будут устраняться, а иловый осадок будет превращен в гранулят и безотходно утилизирован.

### **Источники**

1. Патент № 2421288 Российская Федерация. Способ переработки осадка сточных вод : № 2010114562/21 : заявл. 13.04.2010 : опубл. 20.06.2011 / Лужков Ю.М., Воловик Е.Л. – 10 с.
2. 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.
3. 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.

4. Патент № 2293070 Российская Федерация. Способ комплексной переработки и утилизации осадков сточных вод : № 2005111341/15 : заявл. 18.04.2005 : опубл. 10.02.2007 / Кнатько В.М., Щербакова Е.В., Кнатько М.В. – 9 с.

5. Батарова Л.В. Технологические решения проблемы обработки осадка сточных вод // Научные исследования и разработки молодых ученых. - 2014. - №2. - С. 86-91.

УДК 556.555.8

## ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТВОРОВ ХЛОРЕЛЛЫ РАЗНОЙ ПЛОТНОСТИ

Камиля Руслановна Муратова<sup>1</sup>, Лия Рамилевна Закирова<sup>2</sup>, Мария Эдуардовна Гордеева<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>Muratovakamila15@gmail.com

**Аннотация.** В работе приводится патентный поиск по разнообразию питательных сред для культивирования *Chlorella vulgaris* и способам культивирования, позволяющий судить о востребованности данной темы. Показано, что в настоящее время увеличивается разнообразие модификаций классических питательных сред, изменяющих физико-химические характеристик растворов хлореллы различной плотности. Проанализированы физико-химические характеристики (рН, ОБП, общая минерализация, соленость, сигма морской воды) растворов хлореллы при оптической плотности 0,278-0,745 Б.

**Ключевые слова:** *Chlorella vulgaris*, рН, ОБП, общая минерализация, соленость, питательные среды, оптическая плотность.

## STUDIES OF PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF CHLORELLA SOLUTIONS WITH DIFFERENT DENSITIES

Kamilya R. Muratova<sup>1</sup>, Liya R. Zakirova<sup>2</sup>, Maria E. Gordeeva<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan  
<sup>1</sup>Muratovakamila15@gmail.com

**Abstract.** The work presents a patent search for a variety of nutrient media for the cultivation of *Chlorella vulgaris* and cultivation methods, which allows us to judge the relevance of this theme. At the present time the variety of modifications of classical nutrient media is increasing and it is changing the physico-chemical characteristics of chlorella

solutions with different densities. The physico-chemical characteristics (pH, Eh, total mineralization, salinity, sigma of seawater) of chlorella solutions at an optical density of 0.278-0.745 B are analyzed.

**Keywords:** *Chlorella vulgaris*, pH, Eh, total mineralization, salinity, nutrient media, optical density.

*Chlorella vulgaris* – хлорелла обыкновенная – представитель зеленых водорослей, обладающий большим количеством полезных свойств. Спектр применения одноклеточной водоросли велик, она может использоваться в сельском хозяйстве для подкормки растений, птиц и животных, в пчеловодстве и рыбном хозяйстве; в пищевой промышленности; в медицине, косметологии и парфюмерии; для очистки сточных вод и реабилитации водоёмов; для производства кислорода; для производства биотоплива [1, 2]. Для рационального использования и прогнозирования последствий необходимо представлять физико-химические характеристики объекта использования.

*Chlorella vulgaris* – chlorella vulgaris is a representative of green algae, which has a large number of useful properties. The range of applications of unicellular algae is large, it can be used in agriculture for feeding plants, birds and animals, in beekeeping and fisheries; in the food industry; in medicine, cosmetology and perfumery; for wastewater treatment and rehabilitation of reservoirs; for oxygen production; for biofuel production [1, 2]. For rational It is necessary to present the physical and chemical characteristics of the object of use and to predict the consequences.

Проведенный патентный анализ выявил 58 охранных документов [3], направленных на подбор оптимальных условий и способов культивирования хлореллы. При культивировании используются различные питательные среды, что также влияет на физико-химические свойства растворов различной плотности. Классическими средами являются: среда Тамия, среда Болда, среда Бенке [4]. В настоящее время развитие техники и технологий сильно продвинулось, в связи с этим появляются модификации существующих сред, позволяющие улучшить показатели роста клеток хлореллы. К примеру, появился патент на питательную среду с использованием почвенной вытяжки и витаминов на основе среды Болда [5]; патент на питательную среду с добавлением аммофоса, калимагnezия и хлорного железа на основе среды Тамия [4].

Культивирование хлореллы на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ» проводится на основе среды Тамия аналогично патенту RU 217 986 U1.

Физико-химические показатели среды Тамия, используемой при культивировании хлореллы, следующие: рН составляет 6,15 или 28,6 мВ; окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) – 176,7 мВ; минерализация – 841 мг/л; соленость – 0,85 мг/л.

Проведенное исследование выявило, что при увеличении оптической плотности раствора *Chlorella vulgaris* наблюдается рост значения рН и соответственно снижение значений рН (мВ) и ОВП. Количество неорганических солей, отраженное в показателе общей минерализации, с увеличением плотности раствора снижается, что вероятно связано с уменьшением доли среды Тамия в общем растворе при увеличении его плотности. Аналогично происходит снижение значений сигмы морской воды при увеличении плотности раствора.

Корреляционный анализ собранных данных показал наличие очень высокой связи плотности раствора с рН и ОВП, высокой связи с минерализацией, соленостью и сигмой морской воды при условии культивирования хлореллы на среде Тамия.

Таким образом, выявлено, что поиск оптимальной питательной среды и способов культивирования одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* остается приоритетной задачей современности. Изменение питательной среды для культивирования раствора приводит к изменению его физико-химических свойств, что отражается на конечных целях использования объекта. Выявлено, что при изменении оптической плотности раствора хлореллы, культивируемой на среде Тамия на 0,467 Б рН изменяется на 1,18 единиц или 63,9 мВ, ОВП на 53 мВ, общая минерализация на 4513 мг/л, соленость на 5,2 мг/л.

### Источники

1. Калайда, М.Л., Галеева М.Э. Эксперименты по альголизации водоемов одноклеточной водорослью *Chlorella vulgaris* // Вестник Казанского гос. энерг. ун-та. 2011. № 2(10). С. 42-52.

2. Муратова К.Р., Закирова Л.Р. Исследование оптической плотности и физико-химических показателей растворов хлореллы под воздействием различных факторов среды // Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2023 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный сборник статей по материалам конференции. – Казань: КГЭУ, 2023. – Т. 2. – С. 225-227

3. Московский инновационный кластер [Электронный ресурс]. clck.ru/36JmWG (дата обращения: 22.10.2023)



4. Яндекс-патенты [Электронный ресурс]. [https://yandex.ru/patents/doc/RU2727257C1\\_20200721](https://yandex.ru/patents/doc/RU2727257C1_20200721) (дата обращения: 29.10.2023)

5. Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс]. [https://www.fips.ru/iiss/search\\_res.xhtml?faces-redirect=true](https://www.fips.ru/iiss/search_res.xhtml?faces-redirect=true) (дата обращения: 20.10.2023).

УДК 589.10

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ВЫРАЩИВАНИИ РЫБ

Марьям Гассан Нассер<sup>1</sup>, Лада Константиновна Говоркова<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>nasser.mm@mail.ru

**Аннотация.** Данная статья посвящена микробиологической оценке качества воды при индустриальном выращивании рыб. В работе представлена собранная информация о санитарно-показательных микроорганизмах, которые играют важную роль в оценке гигиенического состояния водной среды, рассмотрены различные виды микроорганизмов, а также методы их выявления и идентификации. Внимание уделено микробиологическому контролю воды, включая нормативные требования и рекомендации по обеспечению безопасности рыбоводного производства.

**Ключевые слова:** микробиологическая оценка, санитарные нормы, качество воды, выращивание рыб, гигиеническое состояние, водная среда.

## MICROBIOLOGICAL INDICATORS FOR ASSESSING WATER QUALITY DURING ARTIFICIAL FISH FARMING

Maryam G.Nasser<sup>1</sup>, Lada K.Govorkova<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>nasser.mm@mail.ru

**Abstract.** This article is devoted to microbiological assessment of water quality during industrial fish farming. The work presents the collected information on sanitary indicator microorganisms that play an important role in assessing the hygienic state of the aquatic environment, discusses various types of microorganisms, as well as methods for their detection and identification. Attention is paid to microbiological control of water, including regulatory requirements and recommendations for ensuring the safety of fish farming

**Keywords:** microbiological assessment, sanitary standards, water quality, fish farming, hygienic condition, aquatic environment.

Один из методов выращивания рыб – это использование системы замкнутого водоснабжения (УЗВ). Для обеспечения получения качественной продукции важно соблюдать санитарно-ветеринарные мероприятия. Выгодное выращивание рыбы в УЗВ зависит от эффективной работы системы очистки, которая представляет собой взаимодействие технических средств, микроорганизмов фильтра и рыбы в ней. Бактериальные заболевания вызываются патогенными или условно-патогенными бактериями. Условно-патогенные бактерии обычно присутствуют в воде, кормах и нормальной микрофлоре кишечника выращиваемой рыбы. Высокая концентрация микроорганизмов в воде способствует их проникновению через жаберный аппарат в кровь рыбы, что может привести к инфицированию внутренних органов и развитию бактериальной геморрагической септицемии [1, 2].

Изучение санитарно-показательных микроорганизмы, по которым определяется качества воды при выращивании рыб в УЗВ необходимо. Собранный материал, согласно [3] санитарно-бактериологической оценке водоема был исследован по следующим показателям: МАФАНМ - мезофильно-аэробные и факультативно анаэробные микроорганизмы (общее микробное число - ОМЧ или сапрофитные микроорганизмы); коли-титр - наличие аэромонад и псевдомонад (показатели возможного неблагополучия водоемов по аэромонаду и псевдомонаду). По результатам исследований были выделены условно-патогенные бактерии родов *Aeromonas* и *Pseudomonas* и санитарно-показательные микроорганизмы из семейства *Enterobacteriaceae*, которые, по данным ряда исследователей относятся к возбудителям бактериальных заболеваний рыб. Установленный идентичный состав бактериофлоры воды с составом бактериофлоры рыбы, в особенности по потенциально опасным бактериям *A. hydrophila*, подтверждает, что вода играет роль основного резервуара бактерий [4].

Были изучены также исследования вод, проводимые разными микробиологами, которые в своих работах показали о необходимости проведения оценки качества вод по микробиологическим показателям [5].

На основе наших результатов и исследований, отраженных в научных статьях других микробиологов были выявлены основные направления работы и микробиологического анализа. Особое внимание необходимо уделить группам бактерий *Aeromonas*, *Streptococcus*,

*Enterococcus*, *Bacillus*. Далее идентифицировать воду по санитарно-микробиологическим нормам для воды. Это необходимо для проведения контроля, соблюдения норм выращивания объектов аквакультуры и дальнейшего соблюдения благополучной эпидемиологической обстановки в водоемах или бассейнах по искусственному выращиванию рыб.

### **Источники**

1. Матишов Г.Г., Пономарёва Е.Н., Балыкин П.А. Выращивание осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения // Исследование водных биологических ресурсов, 2008. – № 11. С. 46–56.

2. Казарникова А.В. Поддержание здоровья осетровых рыб при выращивании в замкнутой системе водоснабжения // Рыб. хоз-во, 2006. – № 67. С. 63–64.

3. Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов. 1999. Утв. Министерством здравоохранения РФ от 27.09.1999 г., № 13-4-2/1742. С.2-4

4. Чухлебова Л.М., Юхименко С.С. Экологические проблемы при воспроизводстве рыбных ресурсов. Чтения памяти В.Я. Леванидова, 2020. №5. 582–588

5. Казимирченко, О. В., Сафонова, В. А. Бактериоценозы стерляди и сибирского осетра, выращиваемых в установках с замкнутым циклом водообеспечения / О. В. Казимирченко, В. А. Сафонова // Научно-практические вопросы регулирования рыбоводства . — Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2019. — С. 70–71.

УДК 639.3

## **КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ ВОДОЕМА КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА Р.НЫСЕ У С.АБДИ ПО МАТЕРИАЛАМ 2022 Г.**

Марина Львовна Калайда, Дмитрий Вячеславович Пенкин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
kalayda4@mail.ru

**Аннотация.** В статье проведен результат исследования кислородного режима водоема комплексного назначения на р.Нысе у с.Абди в контрольных точках с учетом

размещения садковой рыбоводной линии и имеющихся родников. Показана изменения кислорода по месяцам, глубине и на различном расстоянии от линии садков.

**Ключевые слова:** кислородный режим, садковая линия, водоемы комплексного назначения.

## **THE OXIGEN REGIME OF THE WATER BODY OF COMPLEX PURPOSE ON THE NYSE R. AT S. ABDI ACCORDING TO THE MATERIALS OF 2022**

Marina L. Kalaida<sup>1</sup>, Dmitry V. Penkin<sup>2</sup>

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

kalayda4@mail.ru

**Abstract.** The article presents the results of a study of the oxygen regime of a complex reservoir on the Nysa River near the village of Abdi at control points, taking into account the placement of a fish cage line and existing springs. Shows changes in oxygen by month, depth and at different distances from the cage line

**Keywords:** oxygen regime, cage line, reservoirs for complex purposes.

Контроль содержания кислорода в поверхностном слое воды водоема комплексного назначения при организации садкового хозяйства относится к обязательному, так как это определяет не только выбор видов рыб как объектов садкового выращивания, но и прогнозирование темпов их роста, затрат кормов и физиологическое состояние рыб, а также исключить заморное состояние в водоеме. [1]

Целью исследования является изучение динамики изменения содержания кислорода в поверхностном слое воды на разных глубинах в контрольных точках с учетом размещения садковой рыбоводной линии и имеющихся родников водоема комплексного назначения на р.Нысе у с.Абди. [2][3]

Контроль проводился на 10 станциях, отмеченных на рис.1.

Измерения растворенного в воде кислорода проводилось с помощью термооксиметра «САМАРА-2».



Рис.1 Станция отбора проб на водоеме комплексного назначения р.Нысе у с.Абди

Содержание кислорода в поверхностном слое воды в начале августа варьировало от 7,8 до 8,8 мгО<sub>2</sub>/л, наименьшие значения отмечались в центре садковой линии и в верхнем участке водоема, максимальные у плотины. В водоеме отмечалась кислородная дихотомия, при увеличении глубины измерений до 2м концентрация кислорода падала до 0,5 мгО<sub>2</sub>/л в районе садковой линии и до 3 мгО<sub>2</sub>/л в верхних участках водоема. В осенний период колебание содержания кислорода по глубине были менее значительны, в целом отмечалась гомооксигения. Содержание кислорода в водах по направлению от верхнего участка к плотине падало. Концентрация кислорода в сентябре варьировала от 5,6 мгО<sub>2</sub>/л (в садках, ст.1) до 9,7 мгО<sub>2</sub>/л (на верхней ст.7), в октябре – от 6,9 мгО<sub>2</sub>/л (в садках, ст.1) до 16,6 мгО<sub>2</sub>/л (на верхней ст.7). Следует отметить, что в октябре на ст.7 отмечалось активное развитие нитчатых водорослей и перенасыщение воды кислородом. Результаты замеров температуры в период исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Растворенный кислород в водоеме комплексного назначения на р. Нысе у с. Абди в 2022г., мгО<sub>2</sub>/л

Глубина, м	Станции									
	7	8	9	10	6	2	3	1	4	5
02.08.2022г										
0,2	7,8	8,1	8,1	8,1	8,7	8,1	8,2	7,9	8,8	8,7
1	6,8	5,3	4,6			6,1				
2	3		3,3		0,8	0,9		0,5		
03.09.2022г.										
0,2	9,7	7,9	8,0	6,9	8,1	6,5	6,2	5,6	6,7	6,4
1	9,0		9,3		8,2	6,6	6,3	6,2	6,7	6,0
2			8,2		6,8	6,9	7,0	6,5	6,7	6,0
3					7,0	7,0	6,4	6,7	6,6	
11.10.2022г.										
0,2	16,6	9,9	11,3	10,4	10,0	8,3	7,3	7,3	7,1	9,9
1			7,8		10,6	8,5	7,4	6,9	7,3	9,8
2					8,8	8,8	7,0	7,3	7,9	
3					9,0	9,5	7,3	7,3	8,2	

Для снижения рисков возникновения замора рыбы в садках, а так же для обеспечения необходимого водообмена в садках, эксплуатация садковой линии на пруду села Абди на реке Нысе, возможна только при использовании систем аэрации и водообмена. [4]

### Источники

1. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР [Текст] / Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР... ; под ред. канд. техн. наук В. А. Знаменского и В. М. Гейтенко. - Ленинград :Гидрометеоиздат, 1977-. - 30 с.
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 / М.Л. Калайда – 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

УДК 639.371.374

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДЫ В БИОФИЛЬТРАХ МАЛЫХ РЫБОВОДНЫХ УСТАНОВОК КАФЕДРЫ «ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И АКВАКУЛЬТУРА» ФГБОУ ВО «КГЭУ»**

Мадина Фархадовна Хамитова<sup>1</sup>, Далила Артуровна Рахматуллина<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>2</sup>rakhmatullinadalila@gmail.com

**Аннотация.** В работе описаны динамики изменения концентрации растворенного кислорода, рН, проводимости, ОВП и минерализации в биофильтрах рыбоводных установок кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ».

**Ключевые слова:** биофильтр, установка замкнутого водоснабжения (УЗВ), гидрохимия, растворенный кислород, водородный показатель, рН, проводимость, ОВП, окислительно-восстановительный потенциал, минерализация.

## **PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF WATER IN BIOFILTERS OF SMALL FISH-BREEDING FACILITIES OF ABA «KSPEU»**

M.F. Khamitova<sup>1</sup>, D.A. Rakhmatullina<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>KSPEU, Kazan, Tatarstan  
<sup>2</sup>rakhmatullinadalila@gmail.com

**Abstract.** The article describes the dynamics of changes in the concentration of dissolved oxygen, pH, ORP and mineralization in biofilters of fish-breeding plants. ABA «KSPEU».

**Keywords:** biofilter, installation of closed water supply, hydrochemistry, dissolved oxygen, hydrogen index, pH, conductivity, ORP, redox potential, mineralization.

Биофильтры играют ключевую роль в обеспечении малых рыбоводных установках замкнутого водоснабжения качественной водой для жизни и развития рыб. Они обеспечивают очистку воды от вредных веществ, таких как аммиак и нитриты. Изучение динамики концентрации

различных параметров, таких как уровень кислорода, рН, электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал и минерализация в биофильтрах, имеет значительное значение в поддержании здоровья рыб и эффективности работы этих фильтров.

Низкая концентрация растворенного кислорода чревата заморами [1]. Отклонение рН воды негативно влияет на состояние гидробионтов, в том числе на скорость реакций внутри организма [2]. Проводимость (G) – концентрация растворенных ионов и используется для оценки содержания солей в воде. ОВП отражает окислительно-восстановительные процессы в воде, повышение которых негативно влияет на ихтиофауну [3]. Минерализация (TDS) воды влияет на осмотический баланс, токсичность и доступность питательных веществ для водных организмов [4]. Нормативные показатели для промышленных установок представлены в таблице 1.

Таблица 1

Нормативные значения физико-химических показателей для установок замкнутого водообеспечения [5]

	O <sub>2</sub> , мг/л	рН	G, μS/cm	TDS, мг/л
Мин. значение	5	6,5	100	100
Оптimum	6-8	7-8	500-1500	300-500
Макс. значение	10	8,5	3000	1000

Исследование динамики растворенного кислорода, рН, проводимости, ОВП и минерализации проводилось с частотой 1 раз в неделю в период с 6.02.2023 года по 22.05.2023 года на кафедре «Водные биоресурсы и аквакультура» в Казанском Государственном Энергетическом Университете. Измерения концентрации кислорода и температуры проводились с помощью портативного оксиметра, для измерения рН, ОВП, проводимости, минерализации использовался прибор с мультипараметрическим датчиком HANNA HI 98195.

В первой установке (УЗВ-1) объем биофильтра - 0,54 м<sup>3</sup>, наполнен смешанной плавающей и тонущей пластиковой загрузкой. Скорость подачи воды - 0,01 л/с, проточность - 0,6 раза в час. Здесь выращивались карпы Кои, пангасиусы и красноклешневые раки. Частичная заменой воды раз в неделю. Во второй установке (УЗВ-2) объем биофильтра - 0,8 м<sup>3</sup>, заполнен смешанной плавающей пластиковой загрузкой. Скорость



водоподачи - 1 л/с, проточность - 4 раза в час. Здесь выращивались тилипии, клариевые сомы. Ежедневная замена части воды. В третьей установке (УЗВ-3) для осетровых, объем биофильтра - 0,33 м<sup>3</sup>, наполнен плавающей пластиковой загрузкой. Водоподача - 0,21 л/с, а проточность - 2 раза в час. Частичная замена воды раз в два дня. Во всех трех установках обеспечивается круглосуточная подача воздуха в биофильтры.

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значения показателей в биофильтрах и рыбоводных ёмкостях кафедры ВБА

Место замеров		O <sub>2</sub> , мг/л	pH	ОВП мВ	G, µS/cm	TDS, мг/л
Биофильтр	Min-max	4-7,6	5,37-7,86	21,3-254,8	919-1696	460-848
УЗВ 1	Среднее	5,45	6,92	166,31	1173,86	587
Бассейны	Min-max	3,5-6,2	4,96-7,77	128,6-280,4	920-1696	460-848
УЗВ 1	Среднее	4,83	6,7	182,1	1189,67	586,87
Биофильтр	Min-max	3,5-6,5	6,72-7,71	96,8-167	687-1057	343-528
УЗВ 2	Среднее	4,69	7,34	145,97	866,79	438,13
Бассейны	Min-max	4-6,5	5,54-7,8	92,7-176,5	688-1051	344-526
УЗВ 2	Среднее	4,79	7,29	148,87	875,6	437,67
Биофильтр	Min-max	2,5-4,8	6,51-7,52	116,4-233,4	853-1163	426-581
УЗВ 3	Среднее	3,7	7,21	170,48	1029,33	514,73
Бассейны	Min-max	2,8-5,1	6,73-7,54	116,1-244	853-1163	427-582
УЗВ 3	Среднее	4	7,24	169,54	1029,67	514,8
Подпитка	Min-max	4,9-7,1	7,25-8,14	111,2-318,3	582-967	291-483
	Среднее	5,9	7,51	233,08	801,21	398,43

Исследование показали снижение pH, ОВП и концентрации растворенного кислорода в биофильтрах и рыбоводных емкостях установок по сравнению с подпиточной водой, при повышении минерализации и проводимости воды.

### Источники

1. Три состояния воды // StudFiles [Электронный ресурс]. <https://studfile.net/preview/2030619/page:3/> (дата обращения: 30.10.15).
2. Водородный показатель среды растворов – pH. [Электронный ресурс]. <https://studfile.net/preview/6066151/page:19/> (дата обращения: 01.11.2023).

3. Электропроводность воды // Growmir [Электронный ресурс]. <https://studfile.net/preview/2030619/page:3/> (дата обращения: 01.11.2023).

4. Физико-химические свойства воды; понятие солёности. [Электронный ресурс]. [https://studopedia.ru/4\\_70635\\_fiziko-himicheskie-svoystva-vodi-ponyatie-solenosti.html](https://studopedia.ru/4_70635_fiziko-himicheskie-svoystva-vodi-ponyatie-solenosti.html) (дата обращения: 30.10.2023).

5. Поддубная И.В. Исследование гидрохимических параметров водной среды УЗВ при создании оптимальных условий для выращивания маточного поголовья осетровых рыб // Актуальные проблемы и перспективы развития ветеринарной медицины, зоотехнии и аквакультуры. 2016. С. 289-292.

УДК 621.56.002

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЫБОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ ТИПА ВОДОВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ ГРЭС**

<sup>1</sup>Калайда М.Л., <sup>2</sup>Саетов А.Р.

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

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>saetov67@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности водной среды в районе рыбозащитного сооружения (РЗС) по типу водо-воздушная завеса (ВВЗ), установленного на водозаборные сооружения береговой насосной станции № 1 филиала ОАО «Татэнерго» Заинская ГРЭС. Показано, что по температурному фактору, концентрации растворенного кислорода, ЭДС и ОВП в районе ВВЗ отмечается выравнивание характеристик у дна и поверхности.

**Ключевые слова:** аквакультура, объекты энергетики, рыбозащитное сооружение, водо-воздушная завеса, температура, концентрация, кислород.

## **PHYSICAL AND CHEMICAL ENVIRONMENTAL PARAMETERS IN THE AREA OF WORKING THE FISH PROTECTION DEVICE ON THE TYPE OF WATER-AND-AIR SCREEN IN THE GRES WATER- COOLER**

<sup>1</sup> Kalaida M.L., <sup>2</sup> Saetov A. R.

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

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>saetov67@mail.ru

**Abstract.** The article considers the features of the water basin in the area of the fish protection device on the type of water-and-air screen installed at the water intake facilities of the onshore pumping station № 1 of the branch of JSC “Tatenergo” Zainskaya GRES. It has been shown the evenness of characteristics by temperature, dissolved oxygen concentration, electromotive force and ORP at the bottom and surface in the area of water-and-air screen.

**Keywords:** aquaculture, energy facilities, fish protection structure, water-air curtain, temperature, concentration, oxygen.

Согласно нормам Водного Кодекса РФ и Постановления Правительства Российской Федерации № 380 от 29.04.2013 г. «Об утверждении Положения о мерах по сохранению водных биологических ресурсов и среды их обитания» не допускается эксплуатация водозаборов энергетических объектов, не оснащенных рыбозащитными сооружениями (РЗС). Вид рыбозащитного сооружения выбирается в зависимости от типа водозабора, базируется на комбинации принципов воздействия рыбозащиты (экологического, поведенческого, физического) и определяет механизм взаимодействия рыб (ориентацию, реакцию и др.), водной среды и самого сооружения. Одним из самых эффективных технических решений по выбору типа рыбозащитного сооружения является РЗС по типу водо-воздушной завесы [1, 2]. Исследуемое РЗС работает по принципу восходящей водо-воздушной завесы, сформированной системой донных модулей РЗС с аэрирующими соплами. Принцип работы данного типа рыбозащитного сооружения состоит в подаче насосами воды на донные модули РЗС с одновременным забором воздуха по отдельному трубопроводу-воздуховоду. Совместное воздействие водного и воздушного потока создает эффект кавитационного схлопывания пузырьков, поднимающихся от дна водоема к поверхности воды, отпугивающих рыб.

На современном этапе при эксплуатации водохранилищ характерны изменения климатических характеристик: повышение температуры воды в летний период, уменьшение содержания растворенного кислорода, цветение из-за развития цианобактерий, все эти факторы приводят к ситуациям «замора» и массовой гибели рыб [3, 4, 5].

Цель данного исследования – рассмотреть изменения гидрохимических характеристик при работе рыбозащитного сооружения типа водо-воздушная завеса на энергетическом объекте для определения характеристик среды обитания гидробионтов. Актуальность исследования заключается в том, что характеристика среды показывает состояние экосистемы и в дальнейшем может быть использована при оценке

функционирования РЗС типа водо-воздушная завеса. Научная значимость данной работы заключается в том, что впервые были изучены особенности характеристик водной среды в зоне функционирующего на энергетическом объекте РЗС типа водо-воздушная завеса. Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты могут использоваться при внедрении РЗС данного типа на других энергетических объектах.

Материалом для работы являются данные по температуре и растворенному в воде кислороду, которые были измерены анализатором растворенного кислорода Марк 302Э (погрешность  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ) с глубин до 3 м. Характеристики рН водной среды в районе водозабора Заинской ГРЭС измеряли рН-метром марки рН-150МИ. Характеристики ХПК определяли в соответствии с ГОСТ Р 52708-2007 «Вода. Методы определения химического потребления кислорода». Характеристики БПК<sub>5</sub> измеряли в соответствии с ПНД Ф 14.1;2;3;4.123-97 «Количественный химический анализ вод». Станции отбора проб приведены на рис.1.

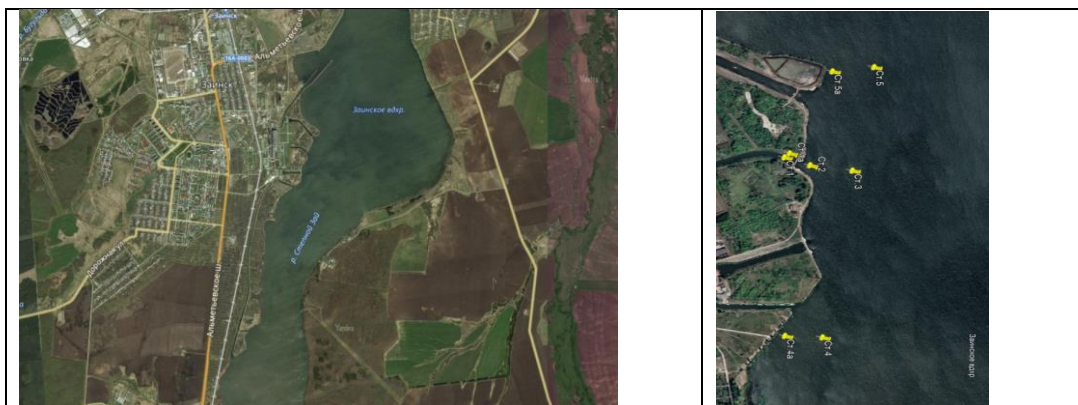


Рис. 1. Станции контроля параметров среды в районе РЗС типа водо-воздушная завеса (ВВЗ)

Проведенное исследование выявило, что в районе ВВЗ отмечается большая мутность воды, наибольшая выравненность температуры в поверхностном слое и у дна по сравнению с контрольными участками водохранилища перед зоной ВВЗ (рис.2)

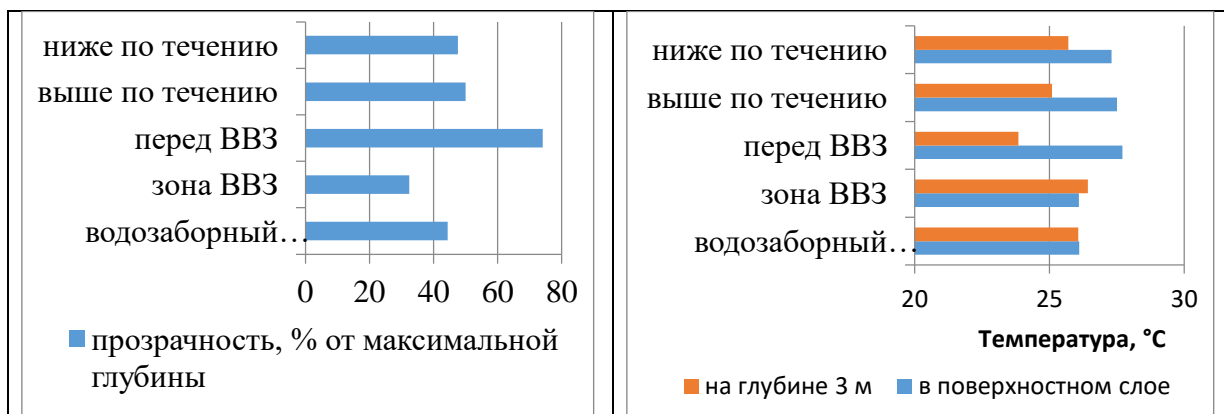


Рис. 2. Прозрачность и температура воды в августе в районе РЗС типа водо-воздушная завеса

Важной характеристикой состояния водной экосистемы является содержание растворенного кислорода. Наибольшая разница в концентрации растворенного кислорода отмечена в зоне перед РЗС типа водо-воздушная завеса. Необходимо отметить, что максимальная концентрация кислорода в придонном слое была в зоне ВВЗ (рис.3)

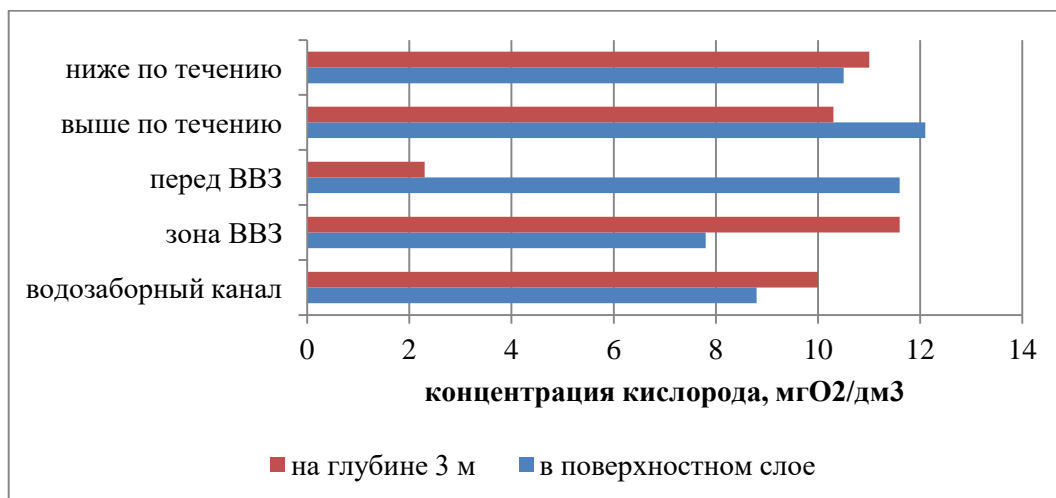


Рис. 3. Концентрация кислорода в воде в августе в районе РЗС типа водо-воздушная завеса

В районе функционирования РЗС типа водо-воздушная завеса отмечаются также более выровненные значения ЭДС (mVpH) в поверхностном и придонном слое (-85,4 у поверхности; -90,6 на глубине 3 м), по сравнению с контрольными участками, где показатель варьировал у поверхности от 91,1 до 98,1 и на глубине 3 м от 61,0 до 89,3. Аналогично характеризовался участок ВВЗ и по ОВП: в поверхностном и придонном слое (107,8 мВ у поверхности; 107,4 мВ на глубине 3 м), по сравнению с

контрольными участками, где данный показатель варьировал у поверхности от 111,2 мВ до 131,0 мВ и на глубине 3 м от 128,0 мВ до 132,7 мВ).

Результаты данных исследований позволяют прийти к выводу: рыбозащитное сооружение (РЗС) по типу водо-воздушной завесы является многофункциональным техническим решением, которое в процессе работы изменяет характеристики состояния экосистемы, особенно в придонном слое.

### Источники

1. Калайда М.Л., Саетов А.Р. Рыбозащитные сооружения на водоемах объектов энергетики как важное мероприятие по сохранению стада рыб. - Международный водно-энергетический форум-2018: сборник материалов докладов/ в 2 т. Т.1.-Казань: Казан.гос.энерг.унт, 2018.- 373 с.- С.108-113.

2. Малеванчик Б.С., Никоноров И.В. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения // Москва. Легкая и пищевая промышленность, 1984. С. 256

3. Хамитова М.Ф., Калайда М.Л. Исследование изменений гидробиологических характеристик в условиях локальных загрязнений в регионе Средней Волги. LAP LAMBERT Academic Publishing (OmniScriptum GmbH & Co. KG), Saarbrücken, Germany/ Германия. 2018, 310 с.

4. Калайда М.Л., Муганцева Т.П. Повышение эффективности работы системы технического водоснабжения ТЭС // Известия ВУЗов: Проблемы энергетики 2012. № 7/8. С. 128

5. Калайда М.Л., Гордеева М.Э. Особенности физико-химического состояния вод водоемов объектов энергетики. - Международный водно-энергетический форум -2018: сборник материалов докладов/ в 2 т. Т.1. - Казань: Казан.гос.энерг.унт, 2018. 373 с. С.284-290.

УДК 574.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЖДЕВОЙ ВОДЫ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Диана Евгеньевна Сиразиева<sup>1</sup>, Софья Михайловна Абрамова<sup>2</sup>,

Мария Эдуардовна Гордеева<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>d.sirazieva@mail.ru, <sup>2</sup>sofya.abramova.2018@bk.ru, <sup>3</sup>gordeeva.me@kgeu.ru

**Аннотация.** Дождевая вода играет важную роль в жизни городских сообществ. Однако, в наше время, усиление процессов урбанизации может оказывать негативное влияние на качество дождевой воды, так, например, осадки и смывы с соседних прибрежных территорий попадают в водоемы, тем самым меняя их химический состав. Казань, как один из крупнейших городов России, стала объектом исследования физико-химических показателей дождевой воды. источником питания замкнутых водоемов являются осадки в виде дождя и снега. В связи с этим в данной работе рассматриваются физико-химические показатели дождя на территории с разным антропогенным воздействием. Проводится анализ на базовые физико-химические показатели как pH, общая минерализация, проводимость, ЭДС, а также на перспективный комплексный показатель – окислительно-восстановительный потенциал.

**Ключевые слова:** дождь, осадки, физико-химические показатели, pH, ОВП, урбанизированная территория, антропогенное воздействие.

## STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL INDICATORS OF SNOW IN URBANIZED TERRITORY

Diana E. Sirazieva<sup>1</sup>, Sofya M. Abramova<sup>2</sup>, Maria E. Gordeeva<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

<sup>1</sup>d.sirazieva@mail.ru, <sup>2</sup>sofya.abramova.2018@bk.ru, <sup>3</sup>gordeeva.me@kgeu.ru

**Abstract.** Rainwater plays an important role in urban communities. However, in modern times, the intensification of urbanization processes can have a negative impact on the quality of rainwater. For example, precipitation and runoff from neighboring coastal areas can enter water bodies, thus altering their chemical composition. Kazan, as one of the largest cities in Russia, has become the subject of research on the physico-chemical parameters of rainwater. Precipitation in the form of rain and snow serves as the source of nourishment for closed water bodies. Therefore, this study focuses on the physico-chemical parameters of rain in areas with varying anthropogenic impact. The analysis includes basic physico-chemical parameters such as pH, total mineralization, conductivity, electromotive force (EMF), as well as a prospective comprehensive indicator - the redox potential.

**Keywords:** rain, precipitation, physico-chemical parameters, pH, Eh, urbanized territory, anthropogenic impact.

Дождевая вода является одной из форм атмосферных осадков. Источник дождевой воды – влага, которая испаряется с поверхности увлажненной почвы и водоемов [1]. Таким образом, выпадающие осадки неизбежно вовлекаются в круговорот воды и участвуют во всех

биогеохимических процессах, что приводит к необходимости регулярного мониторинга состояния осадков, поверхностных и подземных вод.

Исследование физико-химических показателей дождя может быть полезным для понимания его воздействия на окружающую среду и определения потенциальных рисков для здоровья и безопасности, а также влияния на сельское хозяйство, транспорт и другие отрасли.

Проведенный литературный обзор показывает о наиболее частом исследовании химического состава дождя, выявление таких элементов как сера, азот, соединения ртути, свинца, различные ядохимикаты, пестициды и т.д. [2]

Для достижения поставленной цели было проведено комплексное исследование физико-химических показателей дождевой воды на территории города Казань. Дождевая вода отбиралась в 7 районах города (Авиастроительный, Вахитовский, Кировский, Московский, Ново-Савиновский, Приволжский, Советский) в течение осеннего периода 2023 года. Собранные образцы дождевой воды были подвергнуты анализу для определения различных параметров, включая рН, рН в милливольтгах, ОВП, общая минерализация и соленость [2].

Исследование физико-химических показателей дождевой воды на урбанизированной территории города Казань выявило следующие результаты: рН воды имел значительные колебания и в некоторых случаях отклонялся от нормы, что может свидетельствовать о наличии антропогенного воздействия; обнаружено наличие тяжелых металлов, таких как свинец и ртуть, превышающих предельно допустимые нормы, что говорит о влиянии антропогенных источников на окружающую среду [3].

Полученные результаты указывают на необходимость принятия мер для снижения загрязнения дождевых вод. Введение более эффективных систем фильтрации воды, а также улучшение системы дренажа и очистки сточных вод в городе Казань могут помочь сократить вредные влияния на окружающую среду. Повышение осведомленности населения о важности сохранения качества дождевой воды и использование экологически чистых технологий также имеют важное значение для улучшения ситуации [4].

Исследование физико-химических показателей дождевой воды на урбанизированной территории города Казань позволило оценить состояние водных ресурсов и выявить проблемы, связанные с их загрязнением. Данное исследование является основой для принятия соответствующих мер, направленных на улучшение качества дождевой воды в городе Казань и сохранение окружающей среды для будущих поколений [5].



## Источники

1. Алые паруса. Проект для одаренных детей: качественная оценка состава дождевой воды как один из способов определения степени загрязнения атмосферы [Электронный ресурс]. <https://nsportal.ru/ap/library/drugoe/2014/01/02/kachestvennaya-otsenka-sostava-dozhdevoy-vody-kak-odin-iz-sposobov> (дата обращения: 22.10.2023)
2. Gavilán-García, A., Escolero, O., Rocha, R., Weyer, C., Vázquez-Chagoyán, J. C., & Molina-Ramírez, G. (2011). Assessment of heavy metal concentrations in urban stormwater using multivariate analysis techniques. *Environmental monitoring and assessment*, 182(1-4), 99-112.
3. Teixeira, O. C., Ferreira-da-Silva, E., & Mansilha, C. (2018). Quality assessment of rainwater in urban areas: A case study in Porto. *Water*, 10(9), 1073.
4. Tan, Y., Wang, J. H., & Guo, Y. (2020). Pollution source identification and watershed management implication based on hydro-chemical analysis of rainwater in an urban area of Shenzhen, South China. *Science of The Total Environment*, 710, 136263.
5. Holm, P. E., Lorenzen, L. B. (2007). Sources and pathways for trace elements in urban environments: a multivariate statistical analysis of trace elements in rooftop runoff, bulk deposition and leaf

УДК 639.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЫРАЩИВАНИЯ КОМНАТНОГО РАСТЕНИЯ РОДА СПАТИФИЛЛУМ В АКВАПОНИКЕ

Вероника Петровна Степанова<sup>1</sup>, Светлана Дмитриевна Борисова<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>svetlana-zag@bk.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность выращивания комнатных растений рода *Spathiphyllum* в аквапонической установки, которая сочетает в себе как выращивание растительной продукции, так и производство рыбной продукции.

**Ключевые слова:** аквапоника, выращивание рыбы, комнатные растения, спатифиллум.

# RESEARCH OF THE FEATURES OF GROWING HOUSEPLANTS OF THE GENUS SPATHIPHYLLUM IN AQUAPONICS

Veronica P. Stepanova <sup>1</sup>, Svetlana D. Borisova<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>svetlana-zag@bk.ru

**Abstract.** The article discusses the possibility of growing indoor plants of the genus *Spathiphyllum* in an aquaponic installation, which combines both the cultivation of plant products and the production of fish products.

**Keywords:** aquaponics, fish farming, indoor plants, *spathiphyllum*.

Инновационные технологии аквакультуры, как в мировой, так и в отечественной практике, демонстрируют, что наиболее многообещающим является использование новых интенсивных биотехнологий. Эти методы позволяют создавать компактные модульные системы с замкнутым циклом водоснабжения, что способствует эффективному разведению рыбы при высокой плотности заселения аквакультурного объекта. Тем не менее, увеличение плотности заселения приводит к накоплению продуктов метаболизма в воде, особенно азотистых соединений.

В настоящее время метод безотходной аквапоники становится все более популярным. Безотходная аквапоника - это метод производства, который сочетает в себе аквакультуру (выращивание рыбы) и гидропонику (выращивание растений в воде без почвы). Он позволяет эффективно использовать ресурсы и энергию, создавая устойчивую циркуляцию материалов. Ключевой идеей здесь является использование отходов рыбы для удобрения растений, а растения, в свою очередь, очищают воду, которая потом возвращается в аквариум для рыб. Этот метод производства имеет много преимуществ. Во-первых, он позволяет экономить воду, так как она циркулирует в системе и используется повторно. Во-вторых, аквапоника может происходить в закрытых системах, что минимизирует воздействие на окружающую среду. Также этот метод может быть использован для выращивания продуктов питания в условиях, где традиционное земледелие затруднено, например, в городских условиях или в засушливых климатах [1, 2].

Мы предлагаем выращивать растения рода *Spathiphyllum* в аквапонической системе, где сочетается выращивание растений и рыбы. Таким образом, комнатные растения получают все необходимые

питательные вещества из воды, и в то же время выполняют функцию биофильтра в структуре рыбоводной установки.

При выборе комнатных растений для аквапоники важно учесть несколько факторов, чтобы обеспечить оптимальные условия для роста и здоровья растений. рН-уровень воды играет решающую роль для многих растений, поэтому необходимо поддерживать его в предпочтительном диапазоне для конкретного вида. Освещение также имеет большое значение, поскольку разные растения требуют разного уровня освещения. Химический состав воды влияет на способность растений поглощать питательные вещества, поэтому важно обеспечить оптимальный баланс элементов. Также следует учитывать вид рыбы, так как разные виды могут создавать разные химические условия, влияющие на растения. И, наконец, температура воды имеет значение для обоих компонентов системы - как для рыб, так и для растений, так что поддержание оптимальной температуры также важно для успеха аквапоники системы.

Нами был исследован процесс совместного выращивания комнатного растения рода *Spathiphyllum* и клариевого сома.

В аквапоники установке кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» был проведен эксперимент по выращиванию комнатного растения рода *Spathiphyllum* в аквапоники совместно с клариевым сомом. Рыба выращивалась при температуре 22-24 °С и влажности – 70-80% в течение 60 суток [5]. Каждые 10 дней проводились контрольные измерения и визуальный осмотр. Измерялись такие показатели как длина листа, длина корня, визуально анализировалось состояние растения. В качестве субстрата использовалась речная мелкая галька, помещенная в пластиковую емкость, в то время как другая группа растений выращивалась в обычной земле.

Экспериментальные данные показали успешный рост комнатного растения рода *Spathiphyllum* в аквапоники системе. Одним из ключевым условием ухода за этим растением является обеспечение достаточного освещения. В периоды сокращения дневного светового времени, необходимо использовать дополнительное искусственное освещение для оптимального развития *Spathiphyllum*.

## Источники

1. Юрьева, Е.В. Гидропоника и аквапоника — современные методы выращивания растений и рыбы / Е.В. Юрьева // Состояние и пути

развития аквакультуры РФ и обеспечение продовольственной безопасности страны. -2016. - С.145–150.

2. Пономарева, Е.Н. Аквапоника в биотехнологии в модульной установке замкнутого водоснабжения / Пономарева Е.Н., Ильина Л.П., Соколова Т.А., Польшина Т.Н. // Сборник трудов конференции «Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики» - Ростов-на-Дону, 2016. - С. 443–446.

3. Boutwelluc, J. Aztecs'aquaponics revamped / J.pBoutwelluc, 2007. - 57 с.

4. McMurtry, M.R. Aqua-VegeculturepSystems / M.R. McMurtry, P.V. Nelson, D.C. Sanders. - InternationalpAg-Sieve. - 1988. - Vol. 1. - 157 p.

5. Патент на полезную модель №215077. Устройство для выращивания рыбы, раков и растений: № 2022123535: заявл. 02.09.2022: опубл.528.11.2022 / М.Л. Калайда, М.Ф. Хамитова, С.Д. Борисова, Е.С. Пиганов, Ф.А. Исмагилов; заявитель, патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет». – С.4.

УДК 621.56.002

## **ГОЛОВЕШКА-РОТАН (*PERCCOTTUS GLENII* DYBOWSKI, 1877) КАК ОБЪЕКТ АКВАКУЛЬТУРЫ**

Марина Львовна Калайда<sup>1</sup>, Сергей Андреевич Удачин<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup>udachin.s1989@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрен вид головешка-ротан, как интродуцированный объект в современном ихтиоценозе Среднего Поволжья, приведена информация об изученности данного вида рыб, его распространении в европейской части России и водных объектах Средней Волги.

**Ключевые слова:** аквакультура, ротан, головешка-ротан, *Perccottus glenii*, распространение.

## **ROTAN (*PERCCOTTUS GLENII* DYBOWSKI, 1877) AS AN OBJECT OF AQUACULTURE**

Marina L. Kalaida<sup>1</sup>, Sergey A. Udachin<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

**Abstract.** The article discusses the species of rotan, as a potential object of aquaculture, provides information about the study of this species of fish, its distribution in the European part of Russia and water bodies of the Middle Volga.

**Keywords:** aquaculture, sleeper, sleeper firebrand, *Perccottus glenii*, distribution.

На современном этапе аквакультура Республики Татарстан и фермерское рыбководство в основном ориентированы на использование прудов и малых водоемов комплексного назначения. Еще в сентябре 2015 года Организация Объединенных Наций обозначила среди главных направлений деятельности - обеспечение устойчивого развития на период до 2030 года. Отмечено, что 17 целей в области устойчивого развития (ЦУР) пока не достигли необходимых темпов и масштабов. В настоящее время отмечаются признаки усложнения мировой ситуации в области экономической устойчивости. В связи с этим основными задачами сегодняшнего времени стало обеспечение продовольственной безопасности страны. Все более важная роль аквакультуры отводится в обеспечении продовольствия, питания и занятости населения.

Головешка-ротан (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) – представитель отряда Perciformes (Окунеобразные), семейства Odontobutidae (Головешковые). Является распространенным в средней полосе России инвазивным видом, завезенным в Россию в начале XX в. из бассейна р. Амур [11,13]. В дальнейшем он широко распространился в европейской части России в результате деятельности человека и естественных процессов расселения [1].

Предпочтительным местом обитания для ротана служат замкнутые водные системы и пойменные озера. Вид крайне неприхотлив к условиям среды [10].

В бассейн Средней Волги ротан попал во время масштабных акклиматизационных работ 1970-1971 гг, когда вместе с амурским сазаном его вселили в пруды Нижегородской области [7]. В Чебоксарском водохранилище головешка-ротан впервые был зарегистрирован в уловах в 1982 г., в Саратовском – в 1983 г [2, 8].

В Куйбышевском водохранилище, являющимся основным водным объектом Среднего Поволжья, ротан впервые зарегистрирован в 1981 году [14], где он широко распространился на сегодняшний день.

Наибольшей численности в водоемах Среднего Поволжья головешка-ротан достигает в пойменных озерах, отделившихся от заливов

водохранилищ после весеннего половодья. В таких водоемах он может достигать до 95% общей численности в составе ихтиоценоза [12].

Ротан является пластичным видом в выборе пищи, в которой насчитывали 76 и более различных объектов - преимущественно из зоопланктона и зообентоса [3]. Эта особенность биологии позволяет ротану выживать в экстремальных условиях окружающей среды. Кроме того, ротан является активным хищником, предпочитающим преимущественно молодь других видов рыб, обитающих в тех же биотопах [5, 6]. Пластичность вида также выражается в вариабельности характеристик абиотических факторов среды: ротан может обитать в воде с разной соленостью, температурой, содержанием кислорода и уровнем воды [4].

Ротан является распространенным объектом любительского рыболовства. Мясо ротана по биотехническим показателям и гастрономическим свойствам соответствует требованиям, выдвигаемым к доброкачественной рыбе с высоким содержанием белка [9].

Нами ротан отмечен в уловах рыбаков-любителей в о. Харовое в г.Казань.

Проведенный анализ показывает, что головешка-ротан является малоизученным объектом ихтиофауны и может представлять интерес как объект аквакультуры за счет широкого набора адаптационных признаков.

### Источники

1. Reshetnikov A.N. The fish *Perccottus glenii*: history of introduction to western regions of Eurasia // *Hydrobiologia*. 2004. N 522. P. 349–350
2. Горелов М.С. Рыбы // *Природа Куйбышевской области*. Куйбышев: Куйбыш. кн. изд-во, 1990. С. 347 – 365;
3. Горлачёва Е.П. Питание ротана *Perccottus glenii* Dybowski в бассейне верхнего Амура. 2008. С. 287–293
4. Зуев И.В., Яблоков Н.О. Первая находка ротана *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 (Perciformes: Odontobutidae) в бассейне Среднего Енисея // *Journal of Siberian Federal University*. 2013. Issue 6. P. 243–245
5. Кириленко Е.В., Шемонаев Е.В. К вопросу о питании ротана-головешки *Perccottus glenii* в водоемах «Самарской Луки» (на примере озера Круглое) // *Материалы X Международной научно-практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики»* Тольятти: Волжский университет им. В.Н. Татищева, 2013. С. 60–66.

6. Кириленко Е.В., Шемонаев Е.В., Попов А.И. Питание ротана *Perccottus glenii* (Perciformes: Odontobutidae) в пойменных водоемах Саратовского водохранилища // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19(5). С. 157–162.
7. Кудерский Л.А. Ротан в прудах Горьковской области // Рыбохозяйственное изучение внутренних водоемов. Л., ГосНИОРХ, 1980. Вып. 25. С. 28 – 33.;
8. Кузнецов В.А. Рыбы Волжско-Камского края, Изд. Казань, 2005. 208 с.
9. Неволина Е.В., Савостина Т.В. Ветеринарно-санитарная оценка и безопасность ротанов из разных водоемов Челябинской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2019, № 4 (78). С. 196-199
10. Никольский Г.В. Рыбы бассейна Амура. М.: Изд-во АН СССР. 1956. 552 с.
11. Решетников А.Н. Современный ареал ротана *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 (Odontobutidae, Pisces) в Евразии // Российский журнал биологических инвазий. 2009. Т. 1. С. 22–35
12. Семенов Д.Ю. Данные о морфологии и биологии головешки-ротана *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 (Perciformes, Eleotrididae) Куйбышевского водохранилища // Юг России: экология, развитие. №3, 2010. С. 88 – 93;
13. Соколов С.Г., Протасова Е.Н., Решетников А.Н., Воропаева Е.Л. Взаимодействие интродуцированного ротана *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 (Osteichthyes, Odontobutidae) с местными видами рыб: паразитологический аспект проблемы // Поволжский экологический журнал. 2011. Т. 2. С. 203–211
14. Шапов А.Г. Головешка-ротан в Куйбышевском водохранилище // Проблемы охраны вод и рыбных ресурсов. Третья Поволжская конференция. – Казань: КГУ, 1983. – С. 147–148.

УДК 639.3.05

## **КЛАСТЕР КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОСНОВА РАЗВИТИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Эльвира Ильдаровна Хайруллина

Науч. рук. к.б.н., Мадина Фархадовна Хамитова

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

ellyk1@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены кластерная модель организации деятельности, виды кластеров, их основные преимущества, приведены примеры функционирующих кластеров в Российской Федерации. С учетом глобальных современных вопросов, связанных с экологией, озвучена гипотеза, что создание кластера аквабиотехнологий может стать эффективным направлением, отвечающим экономическим и социальным требованиям общества.

**Ключевые слова:** кластер, промышленный кластер, аквакультура, рыбоводство, инвестиционная привлекательность региона, Республика Татарстан.

## **THE CLUSTER AS A SIGNIFICANT BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF THE FISHERY INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN**

Elvira I. Khairullina

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan,

ellyk1@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the cluster model of organizing activities, types of clusters, main advantages, examples of functioning clusters in Russia. With consideration to global contemporary environmental issues, the author raises the hypothesis that creating a cluster of aquabiotechnologies can become an effective area of activity meeting the economic and social requirements of society.

**Keywords:** cluster, industrial cluster, aquaculture, fish farming, investment attractiveness of the region, Republic of Tatarstan.

Некоторое время назад в концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации появился раздел, предусматривающий создание сети территориально-производственных кластеров, реализующих конкурентный потенциал территорий. Причиной этому явились смена условий хозяйствования, инновационный характер модели развития и необходимость ускорения экономического роста. Кластеризация экономики в современных условиях выступает в качестве одного из перспективных направлений как развития регионов, городов, так и самой отрасли в целом [4].

Кластер – это группа компаний, объединенных территориальным принципом, направлением деятельности, которые в результате объединения или сотрудничества начинают получать взаимную выгоду. В настоящий момент выделяют промышленный, туристический,



инфраструктурный, образовательный, культурный, креативный типы кластеров [5]. Наибольшую «популярность» в духе эпохи получили инновационные кластеры – так называемые особые экономические зоны с инновационно-внедренческой направленностью, технополисы, эффективность которых во многом зависит от начального потенциала научно-исследовательских организаций.

Основными преимуществами кластера можно назвать наличие таких характеристик как: объединяющая научно-производственная цепочка в ключевых видах экономической деятельности, механизм координации деятельности всех участников, и важнейший, на наш взгляд, синергетический эффект, выражающийся в повышении экономической эффективности деятельности каждой организации за счет высокой степени их концентрации и кооперации. Среди недостатков отметим взаимное недоверие партнеров, особенно на начальном этапе организации, неоднородность состава, поскольку кластеры создаются на базе, как правило, организаций разной величины и структуры, и сложность самого процесса образования и дальнейшего развития кластера [1]. Однако, положительный результат в конечном итоге может превзойти все издержки как самих компаний, так и отрасли в целом.

Примерами российских кластеров являются Ядерно-инновационный кластер города Димитровград, Удмуртский машиностроительный, Нефтехимический кластер Республики Башкортостан, Титановый кластер Свердловской области, кластер Аквакультуры и рыбного хозяйства Астраханской области и многие другие [2]. При этом по оценке Института статистических исследований и экономики знаний в России лишь 9 из них можно отнести к кластерам с высоким уровнем организационного развития. Остальные же находятся в середине пути либо на начальном этапе своего развития, так, например, в 2023 году открылся кластер «Образовательный» научно-технологической долины МГУ [3]. Отметим, что процесс кластерообразования ориентирован на долгосрочный накопительный эффект от своего создания, в среднем период развития кластера оценивается в 8-10 лет. А значит, пока еще краткосрочная история российских кластеров находится преимущественно в начальной фазе.

Особо остро в последние годы поднимаются вопросы экологии и истощающихся природных ресурсов. В связи с этим на первый план выходят проблемы сохранения природных богатств, их восполнения, создания технологий, позволяющих обеспечить человека необходимыми ресурсами, добытыми без ущерба планете. К одной из соответствующих

отраслей относится аквакультура. И, на наш взгляд, одним из перспективных и потенциально эффективных направлений деятельности может стать создание кластера аквабиотехнологий на территории Республики Татарстан, что позволит объединить под одной крышей все стадии процесса производства рыбы: проектирование рыбоводных предприятий, инновационные биотехнологии, инженерные разработки, необходимые для организации индустриальных хозяйств, производство кормов, посадочного материала, переработку рыбы и пути ее реализации.

Помимо собственно производственных предприятий кластер позволит привлечь к сотрудничеству инфраструктурные организации и институты, научно-исследовательские лаборатории, молодых ученых соответствующих образовательных учреждений. Всё это позволит «построить мост» между специализированными компаниями, профессиональными сообществами и крупными элементами цепи «наука-бизнес-власть», и в целом повысит привлекательность региона как для увеличения инвестиций, так и появления на рынке новых организаций, и вероятно привлечет внимание и поддержку крупных структур, стоящих в настоящее время на страже глобальных экологических проблем.

### **Источники**

1. Жидких А.А. Кластер как инструмент социально-экономического развития территорий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2015. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klaster-kak-instrument-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitiya-territoriy> (дата обращения: 30.10.2023).

2. Карта кластеров России. [Электронный ресурс]. <https://map.cluster.hse.ru/cluster/315> (дата обращения: 29.10.2023).

3. Официальный сайт Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. [Электронный ресурс]. <https://www.msu.ru/news/otkrylsya-klaster-obrazovatelnyu-nauchno-tekhnologicheskoy-doliny-mgu.html> (дата обращения: 30.10.2023).

4. Руднева Е. «Кластер — что это? Размер, создание, роль и виды кластеров: инновационный, промышленный, международный.» [Электронный ресурс]. <https://www.banki.ru/wikibank/klaster/> (дата обращения: 29.10.2023).

5. Что такое кластеры, зачем их создают в России и мире. [Электронный ресурс]. <https://lpgenerator.ru/blog/chto-takoe-klaster/#kakie-perspektivu-u-klasterov> (дата обращения: 30.10.2023).

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНОГО СООБЩЕСТВА В ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ С АКВАПОНИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Анастасия Евгеньевна Чернова<sup>1</sup>, Лада Константиновна Говоркова<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>anastasicherry2000@gmail.com

**Аннотация.** В работе рассматривается актуальность развития индустриальных хозяйств в целом и замкнутых систем водообеспечения в частности при использовании их совместно с аквапоническими установками. Также рассматривается актуальность анализа микробиоценозов рыбы, условий ее обитания и применяемых кормов. Это исследование актуально, поскольку позволяет оценить содержание в этих компонентах замкнутой системы патогенных и санитарно-показательных микроорганизмов.

**Ключевые слова:** аквакультура, замкнутые системы водообеспечения, санитарно-показательные микроорганизмы, микробная популяция, аквапоническая установка.

## MICROBIOLOGICAL INDICATORS OF SANITARY CONDITIONS IN CLOSED WATER SUPPLY SYSTEMS WITH AQUAPONIC INSTALLATIONS

Anastasia E. Chernova<sup>1</sup>, Lada K. Govorkova<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>anastasicherry2000@gmail.com

**Abstract.** The paper discusses the relevance of industrial development in general and closed water supply systems in particular when used in conjunction with aquaponic installations. It also addresses the significance of analyzing the microbiota of cultivated fish, their habitat conditions, and the feed utilized. This research is highly pertinent, as it allows for the assessment of pathogenic and sanitary indicator microorganisms' content in these components of the closed system.

**Keywords:** aquaculture, closed water supply systems, microbial population, sanitary indicative microorganisms, aquaponic installations.

Аквакультура, как форма хозяйственной деятельности, нацелена на

увеличение численности ценных коммерческих видов рыб в водных ресурсах России, в ответ на сокращение их популяций в природных водоемах. Эта деятельность направлена на активное разведение рыб с целью обеспечения устойчивых и прибыльных производственных популяций. Эти системы предоставляют возможность круглогодичного разведения различных видов аквакультуры, независимо от климатических условий. Соблюдение всех норм и стандартов обеспечивает максимальный рост и производительность гидробионтов, при этом достигается экономия ресурсов и обеспечивается экологическая чистота производственных процессов [1]. Для интенсификации производственных процессов проводятся исследования по внедрению в рыбоводные хозяйства аквапонических установок. В такой системе рыбы и растения взаимодействуют совместно: отходы рыбы используются в качестве питательных веществ для растений, а корни растений фильтруют воду, обогащая ее кислородом для рыбы. Это эффективный и экологически устойчивый способ производства как рыбы, так и растений, и его применение становится все более популярным в сельском хозяйстве и аквакультуре. Для развития индустриального рыбоводства с применением замкнутых систем водоснабжения необходимо учитывать не только аспекты, связанные с биологией объекта аквакультуры, методами его выращивания, водоочисткой и качеством кормов, но также необходимо уделять внимание особенностям формирования и функционирования микробных сообществ внутри замкнутых систем с аквапонической установкой. Поэтому, изучение микробиоценозов выращиваемой рыбы, их среды обитания и используемых кормов является актуальным исследованием. Полученные данные в ходе исследования могут потенциально способствовать решению проблем, связанных с предотвращением заболеваний рыб и уменьшением потерь в производстве, вызванных болезнями. Эффективность функционирования рыбоводных предприятий напрямую зависит от контроля над эпизоотическим состоянием рыбных популяций и обеспечения их здоровья [2]. Микробная популяция замкнутых систем с аквапонической установкой состоит из взаимосвязанных групп - микрофлоры гидробионта, микрофлоры окружающей среды и микрофлоры растений. Особенность микрофлоры замкнутой системы - изменение ее видового состава с учетом изменения внешних факторов. Вследствие этого нормальная микрофлора может стать патогенной и вызывать различные заболевания [3]. Следовательно, требуется постоянный мониторинг микробиологической составляющей водной среды. Микробиологический анализ оценивает наличие

индикаторных микроорганизмов оценки качества воды. Эти индикаторы включают в себя общее количество микробов, что представляет собой количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных бактерий в 1 мл жидкости, а также подгруппу бактерий, относящихся к семейству *Enterobacteriaceae*, включая бактерию кишечной палочки, которые рассматриваются в качестве индикаторов органического загрязнения водной среды, и их концентрация предоставляет информацию о степени данного загрязнения. Эти параметры являются важными показателями, определяющими санитарное состояние водной экосистемы [4]. В замкнутых системах водооборота при искусственном кормлении рыбы, значительное количество корма оседает на дне бассейнов, что может привести к накоплению нерастворившихся органических веществ. Биохимическая активность микроорганизмов оказывает влияние на уровень кислорода в воде, процессы трансформации биогенных элементов и санитарное состояние бассейнов. Активность бактериальных ферментов велика на начальных этапах минерализации органического вещества и зависит от их биохимической активности [5]. Поэтому, показателем минерализации белковых соединений могут служить аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие микроорганизмы, изучение которых является особо актуальным.

### **Источники**

1. Григорьев С.С. Индустриальное рыбоводство: Биологические основы и основные направления разведения рыбы индустриальными методами // Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 2008. Ч.1. 186 с.
2. Новикова О.В. Санитария и гигиена в рыбоводстве // М.: Агропромиздат. 1991. 96 с.
3. Антипчук А.Ф., Юреева А.Ю. Водная микробиология // К.:Кондор. 2005. 255 с.
4. Артемова Т.З. Некоторые данные по изучению активности водной микрофлоры в ликвидации загрязнений зарегулирования водоемов // Вопросы санитарной бактериологии и вирусологии. М.: Медгиз. 1965. С. 17–26.
5. Киреева И.Ю. Биохимическая активность микроорганизмов воды и грунтов рыбохозяйственных водоемов аридной зоны // Научные ведомости. 2009, № 3(58). С. 13–19.

## ФОРМИРОВАНИЕ РЫБОЛОВНЫХ УЧАСТКОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

М.Л. Калайда<sup>1</sup>, Р.Г. Шарафутдинов<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup> rambaldi@mail.ru

**Аннотация.** В статье проведен анализ формирования рыболовных участков на примере Куйбышевского водохранилища. Раскрыт механизм определения границ этих участков в Республике Татарстан. Показано, что рыболовные участки являются основой рыболовной деятельности. Отмечено планомерное увеличение рыбных запасов и квот промышленного рыболовства, что в свою очередь ведет к обеспечению продуктовой безопасности жителей республики.

**Ключевые слова:** рыболовные участки, границы рыболовного участка, Куйбышевское водохранилище, ценные виды рыб, квоты.

## FORMATION OF FISHING AREAS OF THE KUIBYSHEV RESERVOIR

M.L.Kalayda<sup>1</sup>, R.G. Sharafutdinov<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>kalayda4@mail.ru, <sup>2</sup> rambaldi@mail.ru

**Abstract.** The article analyzes the formation of fishing grounds using the example of the Kuibyshev Reservoir. The mechanism for determining the boundaries of these areas in the Republic of Tatarstan is disclosed. It is shown that fishing grounds are the basis of fishing activities. A systematic increase in fish stocks and industrial fishing quotas has been noted, which in turn leads to ensuring food security for the residents of the republic.

**Keywords:** fishing areas, boundaries of the fishing area, Kuibyshev Reservoir, valuable fish species, quotas.

Рыболовный участок – это водный объект или его часть. Определению дано ст. 18 Федерального закона №166 от 20 декабря 2004 г. «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов».

Рыболовный участок формируется в определенных границах для осуществления промышленного рыболовства в пресных водных объектах, прибрежного рыболовства, товарного рыбоводства, рыболовства в целях

обеспечения ведения традиционного образа жизни и осуществления традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации, а также для организации любительского и спортивного рыболовства [1].

Перечень рыболовных участков, в Республике Татарстан по согласованию с Федеральным Агентством по рыболовству утверждаются Приказом Государственного комитета Республики Татарстан по биологическим ресурсам.

Порядок установления границ рыболовных участков установлен Постановлением Правительства РФ от 14.06.2018 N 681 (ред. от 28.10.2020) "Об утверждении Правил определения границ рыболовных участков"[2]. Так же при определении границ необходимо руководствоваться ограничениями введенными Водным кодексом Российской Федерации.

В рамках исполнения вышеуказанных нормативных актов Государственным комитетом Республики Татарстан по биологическим ресурсам формируется специальная комиссия по определению границ рыболовных участков.

В состав комиссии входят представители всех заинтересованных органов власти, научных и общественных организаций. Так же при формировании границ учитываются мнение граждан и юридических лиц. Свои заключения дают научные организации подведомственные Федеральному агентству по рыболовству.

Последнее изменение и определение границ рыболовных участков в Республике Татарстан состоялось 29 ноября 2019 года на заседании комиссии по определению границ рыболовных участков на территории Республики Татарстан в целях осуществления промышленного рыболовства.

Границы рыболовных участков описываются точками в географических координатах. Один рыболовный участок определялся не менее чем 3мя точками не находящимися на одной линии. Таким образом, границы рыболовного участка формировались путем последовательного соединения географических точек. При соединении точек по линии берега, сведения о таких соединениях включались в описание границ.

В каждом районе республики в пределах акватории водного объекта сформирован свой рыболовный участок, как того требуют требования.

Самое большое количество рыболовных участков в Республике Татарстан определено в Куйбышевском водохранилище – 8 участков. В Нижнекамском водохранилище таких участков 5. Куйбышевское

водохранилище построено путем создания гидротехнических сооружений на реке Волга. Длина водоема составляет 600 км. Наибольшую ширину – до 40 км – водохранилище имеет в районе слияния Волги и Камы. Максимальные глубины – более 40 м отмечены в приплотинной части водохранилища. Средняя глубина водоема 9 м. На долю Татарстана приходится 3,12 тыс. км<sup>2</sup> площади, составляющей 50,7% при общей площади водного зеркала 6,15 тыс. км<sup>2</sup> [3-4].

В Куйбышевском водохранилище обитает более 30 видов рыб, к промысловым относится 22 вида, из них основными являются: лещ, вылов которого составил 939,3 т (32,8% от общего вылова), густера 551,4 т (19,3%), синец 445,9 т (15,5%), плотва 331,4 т (11,6%), судак 155,5 т (5,4%) [5].

Хочется отметить, что ежегодно продолжает увеличиваться квота на добычу водных биологических ресурсов в республике, и на 2023 год она составляет 3844,1 тонн только в Куйбышевском водохранилище. И как следствие – увеличение уловов (2800-2900 тонн в год).

Планомерное увеличение рыбных запасов и квот промышленного рыболовства ведут к обеспечению продуктовой безопасности жителей республики, так как обеспечивают население продуктами питания с высоким содержанием легкоусвояемых белков животного происхождения.

## **Источники**

1. 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.

2. Постановление Правительства РФ от 14.06.2018 N 681 (ред. от 28.10.2020) "Об утверждении Правил определения границ рыболовных участков" //СПС КонсультантПлюс.

3. Боровкова Т.Н., Ясонова З.Н. 1962. Некоторые вопросы метеорологического режима Куйбышевского водохранилища //В кн.: Сборник работ Комсомольской ГМО. Куйбышев. Вып. 1, с. 38-77.

4. Дзюбан Н.А. 1960. О районировании Куйбышевского водохранилища. – Бюл. Ин-та биол. водохр. № 8-9, С. 53-56.

5. Шакирова Ф.М. 2007. Современное состояние чужеродных видов рыб Куйбышевского водохранилища. //Сб. Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века (к 80-летию профессора Л.А. Кудерского). С.-П.: М., С. 157-170.



## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ АКВАКУЛЬТУРЫ

Илья Андреевич Шатруков<sup>1</sup>, Айгуль Ринатовна Гиниятуллина<sup>2</sup>

Науч. рук., доктор биологических наук, профессор Марина Львовна Калайда

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

<sup>1</sup> shatrukov@gmail.com, <sup>2</sup> giniiatullinaai@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены актуальные экологические проблемы взаимодействия предприятий аквакультуры с окружающей средой, приведены основные климатические стрессоры, влияющие на аквакультуру, а также проведено сравнение различных типов акваферм по уровню негативного воздействия на экологию.

**Ключевые слова:** аквакультура, климатические стрессоры, установки замкнутого водоснабжения.

## ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF AQUACULTURE ENTERPRISES

Ilia A. Shatrukov<sup>1</sup>, Aigul R. Giniiatullina<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> shatrukov@gmail.com, <sup>2</sup> giniiatullinaai@gmail.com

**Abstract.** The article examines current environmental problems of interaction between aquaculture enterprises and the environment, presents the main climatic stressors affecting aquaculture, and also compares different types of aquafarms in terms of the level of negative impact on the environment.

**Keywords:** aquaculture, climate stressors, closed water supply installations.

25 сентября 2015 года 193 страны приняли 17 целей устойчивого развития, которые сочетают в себе экономический, социальный и экологический компоненты, при этом не менее 5 из 17 целей непосредственно связаны с экологическими вопросами, актуальными и для современной аквакультуры: чистая вода и санитария; недорогостоящая и чистая энергия; ответственное потребление и производство; сохранение морских экосистем; сохранение экосистем суши. Одной из наиболее актуальных проблем экологии, влияющей на аквакультуру, является изменение климата. В 2022 году американские ученые провели исследование 781 научной публикации и статей в мировых средствах

массовой информации о климатических стрессорах, воздействиях и подходах к адаптации в отношении аквакультуры за период с 1900 по 2018 год.

Наиболее распространенные климатические стрессоры включали температуру, уровень моря или наводнения, закисление океана, штормы или экстремальные явления (периоды сильной жары), осадки, засуху, болезни, вредоносное цветение водорослей, гипоксию и инвазивные факторы [1].

Таблица 1.

Динамика изменений основных агроклиматических параметров на территории РТ, 1975-2020 гг.[5]

Параметры	Среднее за		Изменения
	1970-1995 г.	2005-2020 г.	
Устойчивое промерзание почвы	10-15 ноября	24 ноября	На 10-12 дней позже
Установление снежного покрова	18-20 ноября	1 декабря	На 10-12 дней позже
Начало разрушения снежного покрова	10-11 апреля	21 марта	На 20 дней раньше
Продолжительность залегания снега	150 дней	135 дня	На 15 дней меньше
Полное оттаивание почвы	2-3 мая	12 апреля	На 22 дня раньше
Продолжительность безморозного периода	127 дней	138 дней	Увеличилась на 11 дней
Продолжительность активной вегетации	132 дня	153 дня	Увеличилась на 21 день

Анализ климатических изменений в Республике Татарстан, приведенный в таблице 1, также показывает значительное изменение агроклиматических параметров в регионе, которые подтверждают мировые тенденции.

Авторами [6] показано, что если территория Татарстана относилась с 1980-х лет ко второй и третьей зоне рыбоводства и количество дней с температурой воздуха выше 15°C составляло от 76 до 100, то с 2000-х лет отмечается изменение климатических характеристик и увеличение количества дней с температурой воздуха выше 15°C до 121-135. Все годы с 2001 характеризуются более высокими температурами воздуха и

фактически определяют изменение положения водоемов Республики Татарстан в классификации рыбохозяйственного зонирования, подтверждается относительное увеличение температуры, как важнейшего экологического фактора для развития водных биоресурсов.

Поскольку рыба, как объект аквакультуры, чувствительна к условиям среды, то температурный фактор является определяющим как условия жизни и размножения рыб в естественных водоемах, так и выбор объектов выращивания и технологические особенности процесса. Изменения температур могут привести к росту заболеваемости и смертности рыбы. На фоне климатических изменений и роста количества экстремальных природных явлений рыбоводные хозяйства, работающие по замкнутому циклу водоснабжения, обеспечивают большую автономность от состояния окружающей природной среды и получают преимущество перед прудовыми и садковыми хозяйствами.

Выращивание продукции аквакультуры в садках и в прудовом хозяйстве в условиях применения монокультуры приводит к большей зависимости от качества окружающей природной среды. В процессе производства рыбной продукции накапливаются органические загрязнения в виде метаболитов рыб и остатков комбикормов, что сопровождается и возможным изменением патогенной флоры и фауны. На возможное загрязнение природных водоемов индустриальными рыбоводными предприятиями указывают авторы [3]. Использование антибиотиков в комбикормах для борьбы с инфекциями привело к появлению резистентных к ним патогенных штаммов бактерий [4].

Проще всего решить проблемы загрязнений на аквафермах по технологии установки замкнутого водоснабжения, в рамках которой необходимо предусматривать пруды-отстойники для сбора илового осадка, а также полигоны для его нейтрализации и последующей переработки в органические удобрения, например, с использованием вермикулятов [2].

Таким образом, современные предприятия аквакультуры являются полноценными участниками экологического взаимодействия с окружающей средой, с одной стороны, они зависят от природных факторов и вынуждены выстраивать автономные системы для защиты объектов аквакультуры от ее негативного воздействия, с другой стороны, результаты их деятельности приводят к нежелательным последствиям для природных ресурсов. Фермы, построенные на использовании технологий установок замкнутого водоснабжения, благодаря автономности систем и современным технологиям очистки вод являются наиболее устойчивыми к

воздействию природных факторов и наносят наименьший вред экосистеме по сравнению с прудовыми хозяйствами и выращиванием рыбы в садках.

### Источники

1. Halley E. Froehlich, J. Zachary Koehn, Kirstin K. Holsman, Benjamin S. Halpern. Emerging trends in science and news of climate change threats to and adaptation of aquaculture // Aquaculture. 2022. [Электронный ресурс]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848621014757> (дата обращения: 28.10.2023).

2. Калайда М.Л., Абдуллин Р.Р. Использование вермикультуры в очистке осадков сточных вод : результаты культивирования *Eisenia foetida* в субстрате осадков сточных вод .- Бутлеровские сообщения.- 2015.-Т.44.- №11.- С.136-140.

3. Петрова М. С. Влияние экологических факторов на возникновение и распространение болезней рыб // Современные проблемы общей и частной паразитологии: материалы IV Международного паразитологического симпозиума, Санкт-Петербург, 07–09 декабря 2022 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2022. С. 191-194.

4. Тауфик Л. Р. Экологическое воздействие индустриальной аквакультуры и пути снижения // Глобальные экологические проблемы: локальное решение: материалы II Международной научной конференции, Борисоглебск, 16–17 мая 2019 года. Борисоглебск: Издательство "Перо", 2019. С. 214-216.

5. Шайтанов О.Л., Низамов Р.М., Захарова Е.И. Оценка влияния глобального потепления на климат Татарстана // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. №4(40).

6. Калайда М.Л., Шарафутдинов Р. Г. Современная гидрологическая характеристика Куйбышевского водохранилища как основа для развития водных биоресурсов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023. Т.25. № 1. С. 166-183.

## Секция 8. Перспективные материалы

УДК 621-313.3

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ СВЕТООТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Михаил Сергеевич Ваганов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент, Мухаметшина Елнара Сулудин Кыз

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

misha.vaganov00@mail.ru

**Аннотация.** Разработка нового технологического процесса для нанесения защитных покрытий на основе полимерных порошковых композиций. Проведены пилотные испытания и рекомендованы оптимальные параметры нанесения полимерных порошковых. Проведены экспериментальные исследования, включая измерения коэффициента отражения, испытания на адгезионную прочность, гибкость, ударопрочность и коррозионную стойкость.

**Ключевые слова:** светоотражающие покрытия, полимерные порошковые композиции, адгезия, стеклянные микросферы, полимеризация, оптические характеристики.

### DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR APPLYING REFLECTIVE COATINGS

Mikhail S. Vaganov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

misha.vaganov00@mail.ru

**Abstract.** Development of a new technological process for applying protective coatings based on polymer powder compositions. Pilot tests were carried out and optimal parameters of polymer powder coating were recommended. Experimental studies have been carried out, including measurements of the reflection coefficient, tests for adhesive strength, flexibility, impact resistance and corrosion resistance.

**Keywords:** reflective coatings, polymer powder compositions, adhesion, glass microspheres, polymerization, optical characteristics.

В настоящее время отсутствует единая теория и методология для создания светоотражающих покрытий с заданными характеристиками,

которые бы охватывали комплексный аспект оптики, химии пигментирования и свойств используемых пленкообразующих материалов [1].

Разработка процесса нанесения светоотражающих покрытий включает в себя решение ряда сложных задач [2,3]:

- Выбор подходящих полимерных порошковых композиций, которые должны соответствовать требованиям высокой адгезии, коррозионной стойкости, атмосферостойкости, и устойчивости пигментов в составе к воздействию ультрафиолетовых лучей.
- Выбор светоотражающих компонентов, таких как микросферы, с учетом оптических характеристик материалов и оптимальной дисперсности.
- Изучение и выявление закономерностей, связанных с вложением микросфер в процессе образования пленки (покрытия).
- В качестве материала для создания пленки были выбраны полимерные порошковые композиции, хорошо изученные с точки зрения адгезии и коррозионной стойкости.

Для высокой атмосферостойкости выбран полиэфир как материал для пленки, а ключевыми элементами стали стеклянные микросферы для равномерного распределения и оптимальных оптических свойств покрытия. Каждый образец оценивался с использованием спектрофотометра типа СФ-18 для измерения коэффициента отражения.

Однако сложности возникают при получении и оценке характеристик из-за отсутствия информации о реологических свойствах полиэфирных композиций, что затрудняет расчет краевых углов смачивания полиэфирной пленки с микросферами различных диаметров. Прочность светоотражающего слоя измеряется величиной утопания, и характеристики поверхности определяются экспериментально с использованием микроскопа [4,5].

Также проведены испытания образцов на адгезионную прочность, гибкость покрытия, ударопрочность и коррозионную стойкость с использованием стандартных методов.

В результате экспериментальных исследований были определены основные характеристики светоотражающих покрытий на основе полиэфирных полимерных порошковых композиций, и разработана соответствующая технология их производства.

## Основные характеристики полученного покрытия

№	Наименование характеристики	Показатель
1	Адгезионная прочность по методу решетчатых надрезов (ГОСТ 15140-791)	1 балл
2	Гибкость покрытия по ШГ – 1	1 мм
3	Прочность покрытия при ударе по VIA ГОСТ 4765-78	50 см
4	Коррозионная стойкость (в солевом тумане) по требованиям СТ СЭВ-991-78 и ГОСТ 9.039-74	соответствует
5	Коэффициент диффузного отражения (для образца белого цвета)	0,71

Технологический процесс включает следующие операции:

- подготовка поверхности подложек;
- нанесение в электростатическом поле коррозионностойкой полимерной порошковой композиции;
- предварительная полимеризация;
- нанесение закрепляющего слоя;
- нанесение светоотражающего покрытия;
- окончательная полимеризация;

Таким образом, авторами разработана технология нанесения светоотражающих покрытий на дорожные информационные знаки с использованием отечественных материалов, характеризующаяся удовлетворительным сроком службы и более низкими стоимостными параметрами по сравнению с зарубежными аналогами. Кроме того, была предпринята попытка усовершенствовать теоретические основы для достижения соответствующих характеристик этих покрытий. Подробная информация о технологическом оборудовании и оснастке будет опубликована отдельно.

### Источники

1. Field J. S. Retroreflective Technology: Retroreflectors and Retroreflective Paint // Proceedings of the IEEE. 1997.
2. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. – М.: Машиностроение. 1978. 295 с.
3. Галимов Э.Р., Тукбаев Э.Е., Зверев Э.В., Галимова Н.Я. Покрытия на основе порошковых материалов и методы их нанесения // Вестник

казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2010. № 2. С.34–36.

4. Беляков Ю. И., Зверев Э. В., Галимов Э. Р. и др. Оптическая модель световозвращателей с микросферическими отражателями // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2007. № 5-6. С.129–133.

5. Зверев Э. В. Разработка световозвращающих покрытий, на основе наполненных полимерных порошковых композиций: автореф. ... дис. к-та техн. наук. Набережные Челны, 2011–17 с.

УДК 621-313.3

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КОНСТРУКЦИЯХ ПОД НАГРУЗКОЙ**

Михаил Сергеевич Ваганов

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Артем Евгеньевич Бунтин

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

misha.vaganov00@mail.ru

**Аннотация.** В данной исследовательской работе обсуждаются различные методы решения задач, связанных с деформациями в конструкциях, изготовленных из композитных материалов, с использованием метода конечных элементов. Авторы представляют примеры моделирования таких композитов, включая как элементарные ячейки материала, так и реалистичные микроструктуры. Данная работа отражает основные аспекты анализа и моделирования композитных материалов в инженерных приложениях.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, композитные материалы, элементарная ячейка материала, микроструктура, метод конечных элементов, моделирование реальной структуры.

## **COMPUTER MODELING OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS USED IN STRUCTURES UNDER LOAD**

Mikhail S. Vaganov

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

misha.vaganov00@mail.ru



**Abstract.** This research paper discusses various methods for solving problems related to deformations in structures made of composite materials using the finite element method. The authors present examples of modeling such composites, including both elementary cells of the material and realistic microstructures. This paper draws attention to important aspects of analysis and modeling of composite materials in engineering applications.

**Keywords:** computer modeling, composite materials, elementary cell of a material, microstructure, finite element method, modeling of a real structure.

Разработка новых материалов с улучшенными характеристиками становится важным фактором промышленного прогресса. Деформация и разрушение материалов являются сложными процессами, связанными с взаимодействием различных фаз, трещин и пор [1]. Современные вычислительные методы позволяют моделировать деформацию и поведение композитных материалов под воздействием нагрузок на разных уровнях материала. Для улучшения материала можно использовать различные методы, такие как термическая обработка и порошковая металлургия.

Применение вычислительного моделирования позволяет оценить деформацию деталей конструкции с достаточной точностью, однако не всегда учитывает неоднородности материала. Такие двумерные модели все еще ограничены в своей способности учитывать трехмерные эффекты в композитном материале.

Одним из самых распространенных методов трехмерного моделирования композитов является метод конечных элементов (МКЭ). С его помощью можно описывать и анализировать механическое поведение композитных материалов на макроуровне [2]. Метод конечных элементов позволяет разбить сложную трехмерную геометрию композита на множество маленьких элементов, называемых конечными элементами, и аппроксимировать поведение материала в каждом элементе. Таким образом, можно определить напряжения, деформации и другие характеристики композита. Моделирование композитных материалов методом конечных элементов также имеет свои ограничения. Например, при моделировании сложных структур с большим количеством включений и сложной микроструктурой, количество элементов может значительно возрасти.

Следующий метод состоит в изучении моделей, представляющих собой объем некоторой детали. Данный метод связан с изучением распределения напряжений и деформаций в моделях композитов, представляющих периодически повторяющиеся ячейки. Исследования в этой области начинались с двумерных моделей, однако с развитием вычислительной техники стали возможны трехмерные модели. Метод включает в себя

моделирование на основе реальных структур и механическое поведение только композитных материалов, состоящих из армированных волокнами с периодическим распределением волокон одинакового размера [3–5]. Основным недостатком упомянутой модели являлось игнорирование воздействия других включений и матрицы на механическое поведение выбранной ячейки. Дальнейшее развитие этой стратегии заключается в интеграции элементарной двумерной ячейки в некий эквивалентный материал [6,7].

Анализ данных методов позволяет сделать выводы о применении численных методов в их усовершенствовании.

Подход с выделением элементарной ячейки позволяет изучать сложные эффекты, влияние расположения фаз, механизмы повреждения и образования пор. Моделирование реальной структуры имитирует поведение материалов без учета регулярности, анализируя образование трещин. Ограничено созданием сложных моделей для каждой микроструктуры.

Дальнейшие исследования позволят оптимизировать параметры, включая сопротивление разрушению, прочность и износостойкость.

### **Источники**

1. Плескачевский Ю. М., Шимановский А. О. Компьютерное моделирование структуры и свойств композитов в нагруженных конструкциях // Механика машин, механизмов и материалов. 2016. № 1(34). С. 41–51.

2. Bohm H.J., Rammerstorfer F.G., Weisenbek E. Some simple models for micromechanical investigations of fiber arrangement effects in MMCs. Computational Materials Science, 1993, vol. 1, no. 3, pp. 177–194.

3. Brockenborough, J.R., Suresh S., Wienecke H.A. Deformation of metal matrix composites with continuous fibers: geometrical effects of fiber distribution and shape // Acta Metallurgica et Materialia. 1991. Vol. 39. № 5. Pp. 735–752.

4. Dong, M., Schmauder S. FE modelling of continuous fiber and particle reinforced composites by self-consistent embedded cell models // Computational Methods in Micromechanics. San Francisco: ASME, 1995. Pp. 81–86.

5. Shen Y.L., Finot M., Needleman A., Suresh S. Effective elastic response of twophase composites // Acta Metallurgica et Materialia. 1994. Vol. 42. № 1. Pp. 77–97.

6. Dong, M., Schmauder S. Transverse mechanical behaviour of fiber reinforced composites – FE modelling with embedded cell models // Computational Material Science. 1996. Vol. 5. № 1–3. Pp. 53–66.

7. Черноус, Д.А., Конек Д.А. Упругопластическое деформирование пористых материалов (двумерная модель) // Материалы, технологии, инструменты. 2002. Т. 7. № 1. С. 21–24.

УДК 621-313.3

## СТРУКТУРА И СИНТЕЗ НАНОПОРИСТЫХ АЭРОГЕЛЕЙ

И.Р. Ганиев

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Артём Евгеньевич Бунтин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ildar.ganiev99@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлена информация про аэрогель, тепловые свойства этого наноматериала и его многоуровневую пористую наносетчатую структуру.

**Ключевые слова:** аэрогель, нанопористый материал, теплоизоляция, наноструктура.

## STRUCTURE AND SYNTHESIS OF NANOPOROUS AEROGELS

I.R. Ganiev

KSPEU, Kazan, Russia

Ildar.ganiev99@mail.ru

**Abstract.** The article provides information about the airgel, the thermal properties of this nanomaterial and its multilevel porous nanomesh structure.

**Keywords:** airgel, nanoporous material, thermal insulation, nanosturcure.

Теплоизоляционные материалы широко используются в области энергосбережения различных типов конструкций. Функциональная модель широко используемых теплоизоляционных материалов снижает теплопередачу и тепловой поток за счет снижения теплопроводности, теплового излучения и тепловой конвекции. Теплоизоляционные материалы, как правило, характеризуются рыхлой и пористой структурой или закрытыми вакуумными слоями, препятствующими конвекции

воздуха, например, пенопласт, пенополистирол, пенополиуретан и др. [1]. К новым типам нанопористых материалов относят аэрогели, структура которых препятствует свободному движению молекул воздуха в нем, поэтому аэрогель имеет сверхнизкую теплопроводность, лучшую, чем у статического воздушного слоя. Распространены аэрогели на основе аморфного диоксида кремния, оксида алюминия, хрома и олова. Приготовление аэрогеля из чистого оксида алюминия можно разделить на метод с использованием неорганической соли алюминия и метод с металлоорганическим алкоксидом алюминия [2, 3]. Различное количество воды в процессе гидролиза можно разделить на гранулированный и полимеризационный методы. Аэрогели обладают множеством наноразмерных микропористых структур, размер которых меньше длины свободного пробега молекул воздуха. Блок аэрогеля из оксида алюминия обладает молочно-белым, голубоватым оттенком без видимых трещин. После термообработки при 1200 °С становится голубовато-прозрачным. Уникальные структурные параметры, такие как трехмерный каркас наночастиц и высокая пористость аэрогеля, определяют его термостойкость и теплостойкость, а также структурную прочность. Рис.1 представляет собой микрофотографию аэрогеля оксида алюминия, полученную с помощью сканирующего электронного микроскопа [2-5].

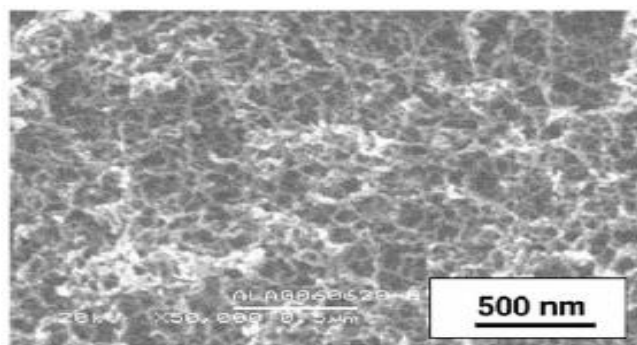


Рис. 1: СЭМ-изображение аэрогеля на основе оксида алюминия

Также аэрогели изготавливаются из диоксида кремния при помощи гидролиза и конденсации молекул кремнийсодержащего прекурсора, в процессе чего образуются силоксановые связи Si–O–Si. На рис. 2 наглядно показан технологический процесс приготовления аэрогеля [4].

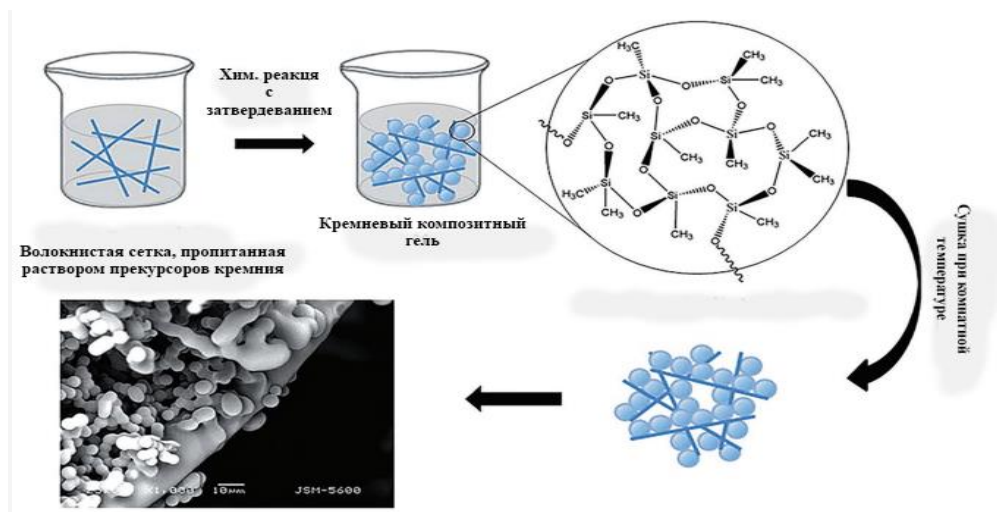


Рис. 2: Схематическая диаграмма структуры приготовления аэрогеля

## Источники

1. Derazkola H. A., Khodabakhshi F. A novel fed friction-stir (FFS) technology for nanocomposite joining // *Science and Technology of Welding and Joining*. 2020. 25(2) С. 89–100. DOI 10.1080/13621718.2019.1631534.

2. Sharma A., Sharma V. M., Paul, J. Fabrication of bulk aluminum-graphene nanocomposite through friction stir alloying // *Journal of Composite Materials*. 2020. 54(1). С. 45–60. DOI 10.1177/0021998319859427.

3. Khdair, A. I., Fathy, A. Enhanced strength and ductility of Al-SiC nanocomposites synthesized by accumulative roll bonding // *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. 9(1). С. 478–489. DOI 10.1016/j.jmrt.2019.10.077.

4. Yue Yu. Analysis of the Performances of a New Type of Alumina Nanocomposite Structural Material Designed for the Thermal Insulation of High-Rise Buildings // *Fluid Dynamics & Materials Processing*. 2023. 19(3). С. 697–709.

5. Sirotkin O.S., Buntin A.E. Optimization of the choice of technological methods for nanomodification of natural aluminosilicates through the parameters of ohe element-oxygen chemical bond // *Key engineering materials*. 2021. 887. С. 201–206.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АССОЦИАТОВ ТРЕТИЧНЫХ АМИНОВ С ПОЛИОКСИПРОПИЛЕНГЛИКОЛЕМ

Алиса Руслановна Давлетбаева, Олег Олегович Сазонов, Ильяс Наилевич Закиров  
Науч. рук., доц. Елена Анатольевна Кияненко  
ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Республика Татарстан  
alisa\_d17@mail.ru

**Аннотация.** В связи с установленными ранее закономерностями формирования структуры АЭФК и ЭФК представлялось необходимым исследовать каталитическую активность третичных аминов в реакции этерификации ОФК. Так как реакционная система состоит только из трёх компонентов, два из которых взаимодействуют с образованием фосфатов третичного аммония, следовало ожидать ключевую роль полиоксипропиленгликоля в возникновении каталитически активных центров при взаимодействии ППГ с ТЭА и ТЭЛА. Данные соединения являются перспективными в качестве основы для получения полиуретановых первапорационных мембран для разделения водных растворов спиртов. Проведённые исследования позволяют объяснить причину высоких первапорационных характеристик полученных мембран.

**Ключевые слова:** амины, система, фосфат, этерификация.

## STUDY OF TERTIARY AMINES ASSOCIATES WITH POLYOXYPROPYLENE GLYCOL

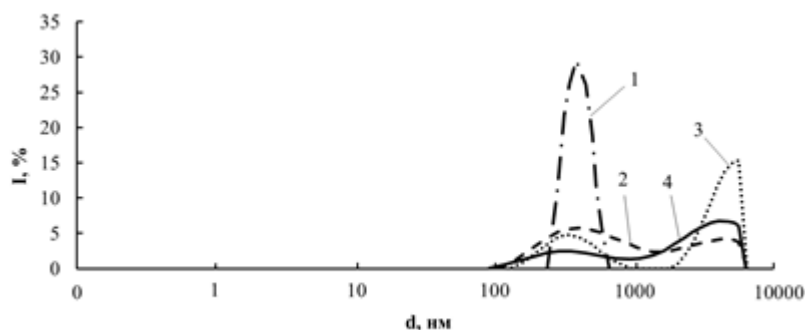
Alisa R. Davletbaeva, Oleg O. Sazonov, Ilyas N. Zakirov  
KNITU, Kazan, Republic of Tatarstan  
alisa\_d17@mail.ru

**Abstract.** In connection with the previously established patterns of formation of the structure of AEPA and EPA, it seemed necessary to study the catalytic activity of tertiary amines in the esterification reaction of OPA. Since the reaction system consists of only three components, two of which interact to form tertiary ammonium phosphates, one would expect the key role of polyoxypropylene glycol in the formation of catalytically active centers during the interaction of PPG with TEA and TELA. These compounds are promising as a basis for the preparation of polyurethane pervaporation membranes for the separation of aqueous solutions of alcohols. The studies carried out make it possible to explain the reason for the high pervaporation characteristics of the resulting membranes.

**Keywords:** amines, system, phosphate, esterification.

Целью данной работы явилось исследование размерных характеристик продуктов взаимодействия ТЭА/ТЭЛА и ППГ в среде толуола [1].

Межмолекулярное связывание ППГ с ТЭА ведёт к образованию агломератов, характеризующихся широким распределением по размерам частиц. Так как интенсивность поглощения падающего на агломераты лазерного луча выше интенсивности его отражения от агломератов [2], можно сделать вывод о рыхлой их макромолекулярной упаковке [3]. Агломераты, образованные в результате межмолекулярного связывания ППГ и ТЭЛА также характеризуются широким распределением по размерам частиц [4].



Распределение частиц по размерам в среде толуола для ППГ (1), [ТЭА]:[ППГ]=0,5:6 (2), [ТЭА]:[ППГ]=1,5:6 (3), [ТЭЛА]:[ППГ]=1:3 (4).

### Источники

1. Vane L.M. Membrane materials for the removal of water from industrial solvents by pervaporation and vapor permeation // J. Chem. Technol. Biot. 2019. Vol. 94. P. 343–365.

2. Andre A., Nagy T., Toth A.J., Haaz E., Fozer D., Tarjani J.A., Mizsey P. Distillation contra pervaporation: Comprehensive investigation of isobutanol-water separation // J. Clean. Prod. 2018. Vol. 187. P. 804–818.

3. Jyothi M.S., Reddy K.R., Soontarapa K., Naveen S., Raghu A.V., Kulkarni R.V., Suhas D.P., Shetti N.P., Nadagouda M.N., Aminabhavi T.M. Membranes for dehydration of alcohols via pervaporation // J. Environ. Manag. 2019. Vol. 242. P. 415–429.

4. Castro-Muñoz R., Galiano F., Fila V., Drioli E., Figoli A. Mixed matrix membranes (MMMs) for ethanol purification through pervaporation: Current state of the art // Chem. Eng. 2018. Vol. 35. P. 565–590.

## НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Даяна Олеговна Котомкина

Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Артем Евгеньевич Бунтин

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

STK.M1ch@gmail.com

**Аннотация.** В данной работе представлен анализ способа улучшения свойств различных материалов за счет введения различных типов нанодисперсных добавок – наномодифицирование. Показаны основные параметры процесса наномодифицирования, технологические проблемы и возможные механизмы действия наночастиц.

**Ключевые слова.** Нанодисперсные добавки, наномодификация, наномоделирование, материаловедение, материалы, наночастица, полимерные композиты.

## NANOMODIFICATION IN MATERIALS SCIENCE

Dayana O. Kotomkina

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

STK.M1ch@gmail.com

**Abstract.** This paper presents an analysis of a method for improving the properties of various materials by introducing various types of nanodisperse additives – nanomodification. The main parameters of the nanomodification process, technological problems and possible mechanisms of action of nanoparticles are shown.

**Keywords.** Nanodisperse additives, nanomodification, nanomodeling, materials science, materials, nanoparticle, polymer composites.

В настоящее время одним из многообещающих направлений улучшения эксплуатационных характеристик материалов является введение различных нанодисперсных добавок природного происхождения, процесс, известный как наномодификация. Потенциал наномодификации материала или сырьевой композиции, необходимой для его производства, в первую очередь зависит от природы и набора параметров нанодисперсной добавки. Эти параметры охватывают такие аспекты, как состав, тип химической связи, устойчивость к агломерации, размер частиц,



близость к размеру объемных дефектов материала и степень изменения состава и структуры по сравнению с модифицируемым материалом.

Основной объем исследований в области наномодификации сосредоточен в области строительных материалов, включая цементы, бетоны, керамику, полимерные композиты на основе поливинилхлорида, эпоксидные смолы, карбамидные смолы, а также в таких областях, как нефтяные масла, битум, лакокрасочные материалы, силиконы, поливинилхлорид, битумно-полимерные вяжущие, и другие. В этом контексте нанодисперсные модификаторы для строительных материалов включают многослойные углеродные нанотрубки, наноалмазы, сажу в виде наночастиц, астрален, фуллерены, оксиды кремния, алюминия, титана, железа и силиката циркония [1].

Современное состояние и достижения в области наномодифицирования строительных материалов отражены в работах Е.В. Королева [2].

Основные технологические проблемы, с которыми сталкиваются исследователи при разработке технологии наномодификации, в первую очередь связаны с двумя аспектами. Во-первых, речь идет о получении наночастиц, устойчивых к агломерации и имеющих минимальный размер, в зависимости от их природы. Во-вторых, это связано с достижением равномерного распределения этих "первичных" наночастиц в базовой композиции, и эти наночастицы вводятся в относительно небольших количествах, обычно составляющих доли процента по массе.

Решения вышеупомянутых проблем могут быть достигнуты путем диспергирования с использованием различных дисперсионных сред со стабилизирующими добавками или путем введения наномодификатора в виде золя. Другой возможностью является использование модификатора в виде суперпластификатора (SP), который повысил бы ее агрегативную стабильность за счет поглощения молекул SP на поверхности наноразмерных частиц [3].

Хорошо известно, что механизмы действия наночастиц лежат в следующие поверхностные эффекты:

- адсорбция с образованием граничных слоев вещества (матрицы), окружающей частицы с измененной структурой и свойствами;
- хемосорбция – химические реакции окружающей среды с поверхностью наночастицы;
- топологический эффект – локализация наночастиц в дефектах и ультрамикроструктурах формирующейся дисперсной системы (матрицы).

- первичные наноматериалы вследствие избыточной поверхностной энергии влияют на структурообразование вещества или материала, способствуя его уплотнению и упрочнению;
- первичные наноматериалы являются центрами кристаллизации;
- первичные наноматериалы являются структурными барьерами, предотвращающими процессы роста кристаллов и перекристаллизацию при термических воздействиях [4-6].

### **Источники**

1. Соколкин Ю.В., Ташкинов А.А. Механика деформирования и разрушения структурнонеоднородных тел. 1984. – М.: Наука. 115 с.
2. Королев Е.В. Наномодификаторы и наномодифицированные строительные материалы // Вестник МГСУ. 2017. №12. С. 3–8.
3. Могилевич М.М., Туров Б.С., Морозов Ю.Л., Уставщиков Б.Ф. Жидкие углеводородные каучуки. 1983. – М.: Химия. 200 с.
4. Возняковский А.П., Неверовская А.Ю., Меленевская Е.Ю., Чубарова Е.В., Кутин А.А., Суханова Т.Е Особенности распределения одностенных углеродных нанотрубок в матрице полистирола // Нанотехнологии: наука и производство. 2018. № 4. С. 16–20.
5. Королев Е.В. Принцип реализации нанотехнологии в строительном материаловедении // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 60–64.
6. Buntin A.E. Influence of Nano-Modification on Structural Mechanical and Physico-Chemical Characteristics of Bentonite // Solid State Phenomena. 2021. T. 316. С. 34–39.

УДК 621-313.3

## **ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

Михаил Сергеевич Ваганов <sup>1</sup>, Наиль Ильнарлович Марданов <sup>2</sup>  
Науч. рук. канд. техн. наук, доцент Бунтин Артем Евгеньевич  
<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан  
misha.vaganov00@mail.ru

**Аннотация.** Анализ технологий неорганических веществ показывает недостаток исследований, посвященных влиянию типа химической связи в исходных и

промежуточных веществах на их структуру и свойства. Это обусловлено сложностью учета данного параметра из-за отсутствия соответствующих количественных данных.

В данной работе создана база данных параметров химических связей (степень ковалентности, степень металличности, степень ионности), которая обосновывает выбор технологических операций для получения и обработки оксидов элементов III периода. Исходя из анализа параметров химических связей в исходных веществах, выявлена зависимость, влияющая на выбор технологических операций для получения и переработки этих оксидов.

Данная работа представляет важный вклад в понимание влияния типа химической связи на технологические процессы получения и переработки неорганических веществ, а также предлагает базу данных для дальнейших исследований в этой области.

**Ключевые слова:** технологии неорганических веществ, химическая связь, структура и свойства веществ, степень ковалентности, степень металличности, степень ионности, технологические операции, физико-химические процессы.

## CHEMICAL BASES OF THE CHOICE OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS

Mikhail S. Vaganov <sup>1</sup>, Nail I. Mardanov

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

misha.vaganov00@mail.ru

**Abstract.** The analysis of the technologies of inorganic substances shows a lack of research on the influence of the type of chemical bond in the starting and intermediate substances on their structure and properties. This is due to the complexity of accounting for this parameter due to the lack of appropriate quantitative data.

In this work, a database of parameters of chemical bonds (degree of covalence, degree of metallicity, degree of ionization) has been created, which justifies the choice of technological operations for obtaining and processing oxides of elements of the III period. Based on the analysis of the parameters of chemical bonds in the starting substances, the dependence affecting the choice of technological operations for the production and processing of these oxides is revealed.

This work represents an important contribution to understanding the influence of the type of chemical bond on the technological processes of obtaining and processing inorganic substances, and also offers a database for further research in this area.

**Keywords:** technologies of inorganic substances, chemical bonding, structure and properties of substances, degree of covalence, degree of metallicity, degree of ionization, technological operations, physico-chemical processes.

Исследование технологий неорганических веществ выявило недостаток исследований влияния типа химической связи в исходных и промежуточных веществах на их структуру и свойства [1]. Данная проблема обусловлена отсутствием подходящих количественных параметров, что делает учет типа химической связи практически неосуществимым на практике. Учет влияния типа химической связи предоставляет возможность прогнозировать структуру и свойства веществ, что может служить полезным инструментом для сокращения области поиска оптимальных технологических решений [2].

Проанализировав исследования [3-5] в данной работе сформирована база данных параметров химических связей ( $C_K$  – степень ковалентности,  $C_M$  – степень металличности,  $C_{И}$  – степень ионности), позволяющая обосновать выбор технологических операций получения и переработки оксидов элементов III периода посредством оценки влияния состава и параметров химической связи на их структуру и свойства.

На основе учета параметров химических связей между элементами в исходных веществах выявлена характеристика их влияния на выбор технологических операций для получения и переработки оксидов элементов III периода. Например, максимально ковалентный тип связи S–S ( $C_K > C_M$ ,  $C_K = 65,8 \%$ ) и S–O ( $C_K > (C_M + C_{И})$ ,  $C_K = 67,7 \%$ ) в исходных веществах обуславливают окислительно-восстановительный и экзотермический характер химических реакций соединения. Это, в свою очередь, требует применения катализа и преобладающее использование химической разнообразности газо- и жидкофазных технологических операций при производстве триоксида серы, серной кислоты и ее солей (например, сжигание серы, термокаталитическое окисление  $SO_2$ , абсорбция  $SO_3$ , нейтрализация  $H_2SO_4$ ).

В случае преимущественно ковалентного типа связи P–P ( $C_K > C_M$ ,  $C_K = 56,6 \%$ ) и P–O, где  $C_K > (C_M + C_{И})$ ,  $C_K = 57,9 \%$  в исходных простых и промежуточных веществах, применяются необратимые гетерогенные эндо- и экзотермические окислительно-восстановительные реакции. Здесь также играет важную роль химическая разнообразность газо- и жидкофазных технологических операций при получении  $P_2O_5$ ,  $H_3PO_4$  и ее солей (например, электротермическое восстановление  $P_4$ , его сжигание, абсорбция  $P_2O_5$ , и нейтрализация  $H_3PO_4$ ).

Промежуточный ионно-ковалентный тип связи Al–O ( $C_K > C_{И} > C_M$ ,  $C_K = 46,7 \%$ ;  $C_{И} = 30,2 \%$ ) и Si–O ( $C_K = 51,7 \%$ ;  $C_{И} = 25,9 \%$ ) в оксидах алюминия и кремния обуславливают разнообразие используемых технологических операций с воздействием на разные уровни структурной организации

вещества. Это включает в себя процессы обогащения, высокотемпературные жидко- и твердофазные химические и физико-химические процессы силикатообразования, спекания, а также механические операции в технологиях получения аморфных и кристаллических силикатов.

Ионный тип связи в оксиде и хлориде натрия ( $C_{И} > C_{М} > C_{К}$ ,  $C_{И} = 41,7\%$ ) играет ключевую роль, обеспечивая преимущественную эффективность в физико-химических (электрохимических) жидкофазных операциях при производстве щелочи и хлора. Этот ионный характер связей в солевых соединениях существенно воздействует на выбор и оптимизацию технологических процессов.

Таким образом, представленные в данной работе данные не только расширяют понимание влияния параметров химических связей на технологические процессы, но также предоставляют основу для рационального выбора операций при получении и переработке оксидов элементов III периода.

### Источники

1. Раевская, О. Д. Понятие о химической связи. Ковалентная химическая связь // Педагогический поиск. 2017. № 4. С. 29–31.
2. Сироткин О. С., Сироткин Р. О., Павлова А. М. Оксидные соединения в Системе химических связей и соединений // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 14. С. 31–33.
3. Бунтин А. Е., Сироткин О. С., Сироткин Р. О. Особенности химического строения, свойств и технологий неорганических продуктов на основе оксидов // Бутлеровские сообщения. 2018. Т. 53, № 2. С. 153–160.
4. Sirotkin, O., Sirotkin, R., Buntin, A. On methods of quantifying the effect of composition on the components of mixed types of chemical bonds in some substances, their structure and properties // AIP Conference Proceedings [this link is disabled](#). 2022. 2632. 020026
5. Сироткин, О., Бунтин А. Е. Особенности химической природы неорганических веществ, свойств и технологий их получения // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20, № 5. С. 15–19.

## СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ФОРМИРОВАННЫЕ АДДИТИВНОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ ВОДОРОДА И СЕРЕБРА

Николай Валерьевич Миронов<sup>1</sup>, Владимир Владимирович Перинский<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «СГТУ им. Ю.А. Гагарина», г. Саратов, Саратовская область  
<sup>1</sup>mironov911a@yandex.ru, <sup>2</sup>pvv175@rambler.ru

**Аннотация.** В статье предложен способ изготовления квазипористого кремния, в структуре которого синтезированы наночастицы серебра, основанный на высокоэнергетической высокодозовой имплантации монокристаллического кремния последовательно протонами (H<sup>+</sup>) и ионами серебра (Ag<sup>+</sup>). Моделирование в программном пакете *TRIM/SRIM* дало представление о процессе имплантации и о дефектообразовании, сопровождающем ионную имплантацию. По завершению симуляции по компьютерным моделям определялись окрестности энергии и дозы ионов в эксперименте.

**Ключевые слова:** монокристаллический кремний, ионная имплантация, программный пакет TRIM/SRIM, квазипористый кремний, масс-спектрометрия, серебросодержащий слой.

## PROPERTIES OF THE POROUS SILICON SURFACE FORMED BY ADDITIVE IMPLANTATION OF HYDROGEN AND SILVER IONS

Nikolay V. Mironov<sup>1</sup>, Vladimir V. Perinsky<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>FGBOU VO "Gagarin State Technical University", Saratov, Saratov region  
<sup>1</sup>mironov911a@yandex.ru, <sup>2</sup>pvv175@rambler.ru

**Abstract.** The article proposes a method for manufacturing quasi-porous silicon, in the structure of which silver nanoparticles are synthesized, based on high-energy high-dose implantation of monocrystalline silicon sequentially with protons (H<sup>+</sup>) and silver ions (Ag<sup>+</sup>). Modeling in the TRIM/SRIM software package gave an idea about the implantation process and about the defect formation accompanying ion implantation. Upon completion of the simulation, the energy and ion dose neighborhoods in the experiment were determined using computer models.

**Keywords:** monocrystalline silicon, ion implantation, TRIM/SRIM software package, quasi-porous silicon, mass spectrometry, silver-containing layer.

Пористый кремний используется в оптоэлектронике для создания элементов солнечных батарей [1]. Опубликованы электрохимические способы формирования слоев пористой структуры на поверхности монокристаллического германия (Ge) при его имплантации ионами Ge<sup>+</sup> с энергией 50 кэВ [2-4].

Стоит отметить, что при этом:

- более экономической и промышленной технологической целесообразностью обладает кремний, а не германий;
- сведений об экспериментах последовательной имплантации протонами (H<sup>+</sup>) и серебра (Ag<sup>+</sup>) монокристаллического кремния для создания пористого кремния на поверхности с синтезом наночастиц серебра ранее не обнаружено.

Ионная имплантация подготовлена по технологии кремниевых интегральных схем поверхности образцов кремния марки КЭФ-4,5 толщиной 0,5 мм проводилась протонами и ионами серебра последовательно. Причем, ионы серебра получали из пара, образующегося при испарении азотнокислого серебра лучом лазера с энергией 40, 75, 200 кэВ; доза облучения протонами составляла  $(2,5-3,5) \times 10^{16}$ , а ионами серебра  $(1,25-3,1) \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> [4].

Осуществлены измерения плотности квазипор на поверхности протонно-имплантированного кремния и элементного состава полученных пористых поверхностных слоев кремния с имплантированными в них наночастицами серебра.

Для экспериментального исследования рельефа пористой поверхности подложки кремния применялся сканирующий зондовый микроскоп OLYMPUS SC30 с высоким вертикальным разрешением.

Получен рельеф (профиль) и размеры квазипор на поверхности кремния, имплантированного протонами с энергией 200 кэВ и дозой  $2,5 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>.

Микротвердость поверхностных квазипористых слоев измеряли методом Роквелла вдавливанием алмазного индентора на установке DuraVision 300. Зависимость плотности квазипор на поверхности имплантированного кремния от энергии и дозы протонов измеряли на анализаторе для определения площади удельной поверхности NOVA2000e.

Образовавшейся на поверхности кремния квазипористая структура затем обрабатывали в вакуумной среде (p ~10<sup>-6</sup> мм.рт.ст.) пучком ионов серебра для синтеза в образованной структуре слоя наночастиц серебра.

Полученные экспериментальные параметры имплантации ионов серебра ( $\text{Ag}^+$ ) являлись: энергия  $E=40\text{-}200$  кэВ, температура облучения  $T_{\text{обл}}=40 \pm 5$  °С и доза  $\Phi = (1,25\text{-}3,1) \times 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> [5].

Распределение элементов по глубине измерялось методом вторично-ионной масс-спектрометрии (ВИМС) с помощью масс-спектрометра TOF.SIMS5. По данным вторичной ионной масс-спектрометрии, поверхность полученных кремниевых квазипористых образцов с серебросодержащим слоем характеризовалась распадом окислов, увеличением концентрации свободного кислорода и повышением концентрации углерода и углеродсодержащих соединений (углеводородов), значительным повышением концентрации серебра, причем концентрация углерода и серебра выростала и в приповерхностном объеме квазипористого кремния.

В результате, при полученных технологических режимах на поверхности монокристаллического кремния сформирован серебросодержащий слой квазипористого кремния по промышленно-воспроизводимой технологии, основанной на высокоэнергетической высокодозовой ионной имплантации последовательно протонов и ионов серебра, необходимых и достаточных для создания элементов солнечных батарей.

### Источники

1. Smerdov R. S., Mustafaev A. S., Spivak Y. M., Moshnikov V. A. Porous silicon and grapheme-based nanostructures for novel solar energy systems // Journal of Physics: Conference Series, 2018. Vol. 1 (135). P. 110–112.
2. Степанов, А.Л. Фотонные среды с наночастицами, синтезированные ионной имплантацией // Саарбрюккен: Lambert Acad. Publ. 2013. С. 354.
3. Ростислав, С.С. Нанослой на основе функционализованного пористого кремния для новых систем солнечной энергетики // Специальный выпуск журнала «Физическое образование в вузах», 2019. Т. 25. № 2. С.46–51.
4. Перинский В.В., Перинская И.В. Аддитивная имплантация ионов в переходные металлы, полупроводники, диэлектрики тонкопленочных структур: монография, Москва, Ай Пи Ар Медиа, 2022. с. 159.
5. Ziegler I. E. SRIM the stopping and range of ions in matter // Nucl. Instr. Meth. Phys. 2010. Vol. 268. P. 1 818–1 823



## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА И ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ В СЛОЯХ GAAS/IN<sub>0.01</sub>GAAS В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ЛЕГИРОВАНИЯ SI

Николай Дмитриевич Платонов<sup>1</sup>, Андрей Александрович Лебедев<sup>2,3</sup>

Науч. рук. д. ф.-м. наук, профессор Вадим Леонидович Матухин<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>АО «НПП «Квант», г. Москва, Россия

<sup>3</sup>НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

<sup>1</sup>nickiplatonov@gmail.com, <sup>2</sup>lebedev\_aa@npp-kvant.ru, <sup>4</sup>matukhinvl@mail.ru

**Аннотация.** Арсенид галлия GaAs является одним из основных полупроводниковых материалов, относящихся к классу соединений A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> [1]. Арсенид галлия (GaAs) является одним из базовых и перспективных материалов микроэлектроники, в частности для фотоэнергетики. К числу наиболее важных свойств GaAs, наряду с большой шириной запрещённой зоны и высокой подвижностью носителей заряда, относится и широкий диапазон изменения параметров при легировании различными примесями [2].

В данной работе на примере полученных методом МОС-гидридной эпитаксии твердых растворов GaAs и In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>As:Si приведены результаты исследования зависимости подвижности основных носителей заряда от температуры роста и от уровня легирования данных слоев, а также ширины запрещенной зоны от концентрации легирующих примесей, с целью поиска оптимальной структуры, способной повысить энергетическую эффективность ФЭП.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический преобразователь (ФЭП), полупроводниковые эпитаксиальный слой (ЭП), подвижность и концентрация основных носителей заряда (ОНЗ), уровень легирования.

## THE STUDY OF MAIN CHARGE CARRIER MOBILITY AND BANDGAP IN GAAS/IN<sub>0.01</sub>GAAS LAYERS DEPENDING ON THE LEVEL OF SI DOPING

Nikolai Dmitrievich Platonov<sup>1</sup>, Andrey Alexandrovich Lebedev<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Federal State State-subsidized Educational Institution of Higher Professional Education «KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY». Republic of Tatarstan

<sup>2</sup> JSC NPP Kvant, Moscow, Russia

<sup>3</sup> National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia

**Abstract.** Gallium arsenide GaAs is one of the main semiconductor materials belonging to the class of III-V compounds [1]. Gallium arsenide (GaAs) is one of the basic and promising materials for microelectronics, in particular for photoenergy. Among the most important properties of GaAs, along with the large band gap and high mobility of charge carriers, is a wide range of parameter changes when doped with various impurities [2].

In this work, using the example of GaAs and In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>As:Si solid solutions obtained by MOCVD epitaxy, we present the results of a study of the dependence of the mobility and the main charge carriers on the growth temperature and on the doping level in these layers, as well as the band gap on the doping concentration -ruining impurities, in order to find the optimal structure that can increase the energy efficiency of solar cells.

**Keywords:** photovoltaic converter (PVC), semiconductor epitaxial layer (EP), mobility and concentration of majority charge carriers (MCC), doping level.

В ходе первого этапа исследования, была получена зависимость подвижности основных носителей заряда (электронов) в структуре In<sub>0,01</sub>Ga<sub>0,99</sub>As от концентрации легирующего компонента (Si) с помощью измерений методом Холла (Ван-дер-Пау). Все образцы S1-S3 имели n-тип проводимости. Полученная графическая зависимость представлена на рисунке 1.

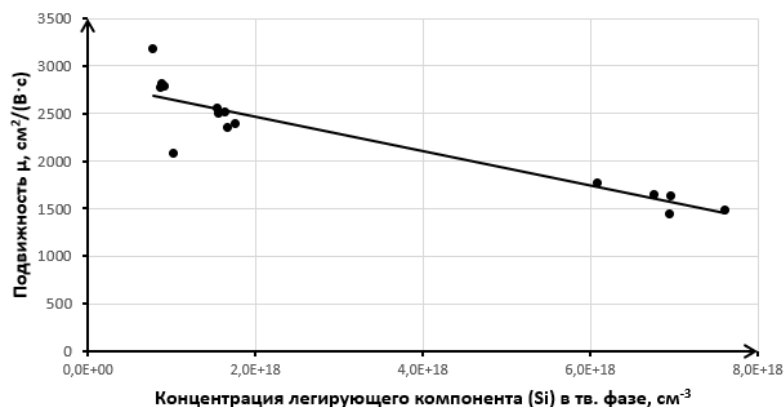


Рис. 1. Зависимость подвижности основных носителей заряда в структуре In<sub>0,01</sub>Ga<sub>0,99</sub>As от концентрации легирующего компонента в твердой фазе (Si)

По графику, изображенному на рисунке 2, легко отслеживается линейная зависимость: при увеличении концентрации легирующего компонента (Si) происходит уменьшение подвижности основных носителей заряда в структуре, что можно связать с ростом числа дефектов

в кристаллической структуре (вакансий, дислокаций, центров рекомбинации и других примесей).

На втором этапе исследования была получена зависимость ширины запрещенной зоны структур  $\text{In}_{0,01}\text{Ga}_{0,99}\text{As}:\text{Si}$  от концентрации легирующего компонента (Si) с помощью метода фотолюминесценции (ФЛ). Данная зависимость приведена на рисунке 2. Ввиду слабого отличия параметров решетки структур  $\text{In}_{0,01}\text{Ga}_{0,99}\text{As}$  и GaAs, в данной работе приведено сравнение данных структур друг с другом [3].

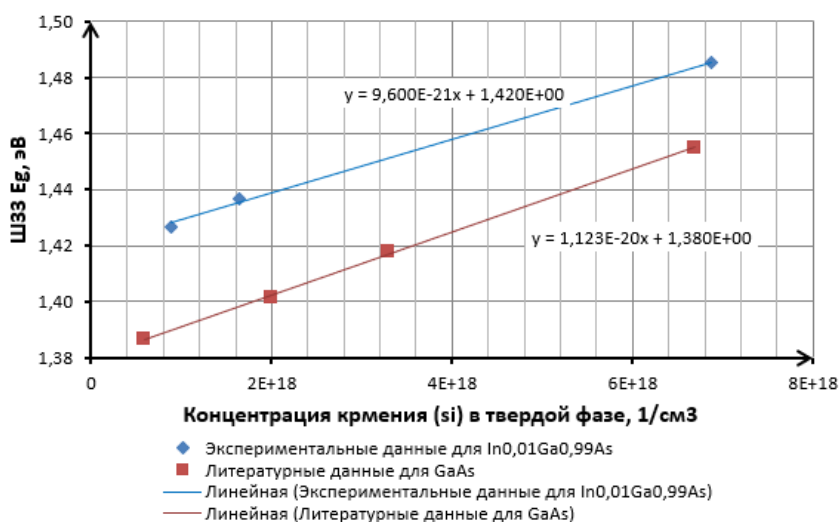


Рис.2. Зависимость ШЗЗ структур от концентрации легирующего компонента  
Синяя линия – экспериментальные данные для образцов S1-S3;  
красная линия – литературные данные для GaAs [4]

По имеющимся литературным данным при идентификации дефектов в структурах GaAs [5], можно сделать вывод, что данный пик ФЛ нашей структуры  $\text{In}_{0,01}\text{Ga}_{0,99}\text{As}:\text{Si}$ , выращенной при указанных выше параметрах, преобладает следующие дефекты – атомы замещения Si и Ga, которые замещают атомы As основной решетки. Таким образом в исследуемой структуре преобладают дефекты типа  $\text{Ga}_{\text{As}}$ ,  $\text{Si}_{\text{As}}$  [5].

### Источники

1. Гольдаде В.А. Бинарные полупроводниковые соединения. Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины. Гомель, 2015. С. 1.
2. Хлудков С.С., Толбанов О.П., Вилисова М.Д., Прудаев И.А. Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия с глубокими примесными центрами / под ред. О.П. Толбанова, Томск: Издательский Дом Томского государственного университета. 2016. С.16.

3. Лебедев А.А., Смирнов А.А., Наумова А.А., Вагапова Н.Т., Жалнин Б.В. Получение заданных электрофизических характеристик слоев  $\text{In}_{0,01}\text{Ga}_{0,99}\text{As}$ : (Zn/Si) солнечных элементов в процессе эпитаксии из газовой фазы. Инженерный журнал: наука и инновации, 2020, вып. 7. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-7-2001>

4. Levinshtein M., Rumyantsev S., Shur M. Handbook series on semiconductor parameters. Rensselaer Polytechnic Institute. World Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd. 1996.

5. Miyagawaa A., Yamamotoa T., Ohnishia Y., Nelsona J.T., Ohachia T., Nguyen Hong Ky, Reinhart F.K. Silicon doping into MBE-grown GaAs at high arsenic vapor pressures, Journal of Crystal Growth 237–239. 2002. P. 1434–1439.

УДК 666.3.022.46

## **КРЕМНЕЗЕМИСТО-КАРБОНАТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ - ОСНОВА СТЕКЛО, КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ и НАНОКОМПОЗИТОВ**

Тимур Радикович Яппаров

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ирина Александровна Женжурист

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[tim.yappar@gmail.com](mailto:tim.yappar@gmail.com)

**Аннотация.** Представлена информация о видах стекло и керамических материалах, полученных на основе кремнеземисто-карбонатного сырья. Отмечена роль волластонита для получения технической керамики, аморфного карбоната кальция и кремнезема для получения нанокompозитов. Отмечена необходимость особой технологии для получения наноструктурной керамики.

**Ключевые слова:** карбонат Ca и Mg, аморфный кремнезем, волластонит, наноматериал.

## **CREMNESIUM-CARBONATE COMPOSITIONS - BASIS FOR GLASS, CERAMIC MATERIALS AND NANOCOMPOSITES**

Timur Radikovich Yapparov

KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan

[tim.yappar@gmail.com](mailto:tim.yappar@gmail.com)

**Abstract.** The information on types of glass and ceramic materials obtained on the basis of silica-carbonate raw materials is presented. The role of wollastonite for obtaining technical ceramics, amorphous calcium carbonate and silica for obtaining nanocomposites is noted. The necessity of special technology for obtaining nanostructured ceramics is noted.

**Keywords:** Ca and Mg carbonate, amorphous silica, wollastonite, nanomaterials.

Кремнеземистое и карбонатное сырье наряду с алюмосиликатами наиболее широко распространено в природе и является основным для получения широкого ассортимента керамических материалов различного назначения. Кроме грубой строительной, огнеупорной керамики кремнеземисто-карбонатное сырье является основой для получения различных керамических композитов, которые находят широкое применение в качестве функциональной, в том числе электротехнической керамики. Для нужд машиностроительной промышленности широко применяются керамические материалы на основе силикатов кальция и прежде всего волластонита, особые свойства которого, такие как химическая инертность, малая плотность, высокая пористость и низкий коэффициент теплопроводности делает его особенно привлекательным во многих областях промышленности [1, 2].

В основе разработки составов и технологии синтеза кремнеземисто-карбонатных материалов лежит диаграмма  $\text{CaO-SiO}_2$ . В этом отношении представляет интерес физико-химические особенности процесса получения высококальциевых стекол и стеклокристаллических материалов, особенно на основе природного и техногенного сырья [3]. Отмечена роль механохимической обработки сырьевой композиции на основе силикатного и карбонатного сырья в образовании конечного продукта, устанавливается равновесие между разными формами карбоната кальция [4].

Разработаны стеклокерамические пропанты, которые получают из петругического сырья, основу которого составляет кремнеземисто-карбонатная композиция [5]. Разработанная технология получения пропантов позволяет получать гранулированный материал при низких температурах спекания по сравнению с традиционной технологией из алюмосиликатного и магнезиального сырья.

Особенно перспективными в последние десятилетия являются нанокерамические материалы, у которых размеры кристаллитов имеют размеры менее 100 нм. Для получения нанокерамики необходима особая подготовка сырьевой композиции, технология формования и спекания материала [6]. Особенно перспективны и интенсивно изучаются в

последнее время широко представлены аморфные формы природного и техногенного кремнезема и карбонаты Са и Mg, которые имеют широкий спектр использования [7].

### Источники

1. Волочко А.Т., Подболотов К.Б., Дятлова Е.М. Огнеупорные и тугоплавкие керамические материалы. 2013. Минск: Белорусская наука. 383 с.

2. Дятлова Е.М., Сергиевич О.А., Руба М.А. Синтез волластонит содержащих керамических материалов технического назначения для предприятий машиностроительной отрасли // Огнеупоры и техническая керамика. 2019. №6. С. 31–40.

3. Верещагин В.И., Меньшикова В.К., Бурученко А.Е., Могилевская Н.В. Керамические материалы на основе диоксида // Стекло и керамика. 2010. № 11. С. 13–16.

4. Калинин А.М., Политов А.А., Калинин Е.В., Залкинд О.А., Болдырев В.В. Механохимическое взаимодействие карбоната кальция с диоксидом и аморфным кремнеземом // Химия в интересах устойчивого развития. 2006. № 4. С. 357–367.

5. Павлюкевич Ю.Г., Ларионов П.С., Папко Л.Ф., Баранцева С.Е., Кравчук А.П. Получение стеклокерамических пропантов на основе петруггического сырья // Стекло и керамика. 2019. № 8. С. 9–13.

6. Khalaf M.M., Ibrahimov H.G., Ismailov E.H. Nanostructured materials: importance, synthesis and characterization - a review // Chemistry Journal. 2012. Т. 2. № 3. С. 118–125.

7. Assaf Gal, Anna Hirsch, Stefan Siegel, Chenghao Li, Barbara Aichmayer, Yael Politi, Peter Fratzl, Steve Weiner, Lia Addadi. Plant cystoliths: a complex functional biocomposite of four distinct silica and amorphous calcium carbonate phases // Chemistry. 2012. 18(33); 10262-70.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАПРАВЛЕНИЕ: ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

#### СЕКЦИЯ 1. Ядерная, тепловая и электрохимическая энергетика

<b>Асхадуллин Н.Р.</b> Способы получения водорода. . . . .	3
<b>Боровков Д.А.</b> Недостатки РБМК и дальнейшие его улучшения. . . . .	6
<b>Валиуллина Е.С.</b> Разработка цифровой модели сжигания топлива в энергетическом котлоагрегате для нахождения оптимальных способов снижения вредных выбросов. . . . .	9
<b>Волкова Е.В.</b> Применение ядерной энергетики для полета на Марс. . . . .	12
<b>Вураско Е.А.</b> Сравнительный анализ видов топлива на современных АЭС и перспективы их развития. . . . .	15
<b>Вьюгова К.Д.</b> Применение инъекции при численном моделировании фонтанирующего слоя. . . . .	18
<b>Гайнутдинов Ф.Р.</b> Перспективы развития химических источников тока. . . . .	21
<b>Гарипова А.М.</b> Экологические проблемы в теплоэнергетике: вызовы и пути решения. . . . .	24
<b>Горбунов С.В.</b> Создание 3d-геометрии численной модели циклона цн-11-200 средствами ansys sparcslaim и ее сложности. . . . .	28
<b>Даминов Р.Р.</b> Применение BIM-технологий на базе Renga для моделирования систем вентиляции. . . . .	32
<b>Ельченков А.А.</b> Сравнительный анализ тепловых схем атомных электрических станций. . . . .	36
<b>Залаев А.Э.</b> Внедрение АЭС со сверхкритическими параметрами пара. . . . .	38
<b>Земляных В.П.</b> Сравнение безопасности реакторов ВВЭР и БН. . . . .	41
<b>Ибрагимова Э.Д.</b> Графеновые аккумуляторы. . . . .	44
<b>Камалиева Р.Ф., Власова А.Ю.</b> Технология углевания как способ очистки питьевой воды в теплоэнергетике. . . . .	47
<b>Краус Р.И.</b> Развитие ядерной инфраструктуры Республики Татарстан. . . . .	49
<b>Лавриков В.А.</b> Проблема высокой активированности аустенитной стали как основного материала корпуса ядерного энергетического реактора и возможные пути ее устранения. . . . .	53

<b>Литвинюк А.М.</b> Оценка состояния водородной энергетики в России. ....	56
<b>Меньщиков Н.В.</b> Физический метод отстаивания масла. ....	59
<b>Осинцева А.И.</b> Малые модульные реакторы как альтернатива современным реакторным установкам. ....	62
<b>Ошмарина Ю.В.</b> Перспективы переработки жидких радиоактивных отходов. ....	65
<b>Победа Н.С.</b> Применение малых модульных реакторов на морском транспорте. ....	68
<b>Раянов Р.Р.</b> МБИР: основные достоинства, недостатки и перспективы развития. ....	71
<b>Селендюкова О.О.</b> Реализация управляемого термоядерного синтеза. ....	74
<b>Сергеев Н.В.</b> Анализ эффективности работы конденсационного экономайзера вместе с паровым котлом ТГМ-96а на примере установки его на ТЭЦ. ....	76
<b>Сергеева Е.А., Базин Д.А.</b> Влияние дефектов компрессора на работу газовой турбины. ....	79
<b>Сунгатуллин К.И., Базин Д.А.</b> Использование твердооксидного топливного элемента в составе ПГУ. ....	83
<b>Титенков В.В.</b> Водный режим реактора типа ВВЭР. ....	87
<b>Титенков В.В.</b> Пилотный проект АСММ на базе реакторной установки шельф-м для энергоснабжения арктических месторождений твердых полезных ископаемых. ....	89
<b>Филимонов А.А.</b> Перспективы строительства станции с высокотемпературным газоохлаждаемым реактором в Менделеевске. ....	92
<b>Хайдаров И.Р.</b> Влияние параметров пара для паровых турбин в схемах ПГУ с КУ. ....	94
<b>Хасанов А.А., Набиуллина М.Ф.</b> Возможность использования гелиоколлекторов для обеспечения горячего водоснабжения. ....	98
<b>Хисамиев Б.Р.</b> Моделирование однотрубной системы отопления в renga и revit. ....	101
<b>Черноголовый Д.Л.</b> Преимущества и перспективы строительства второй очереди Смоленской АЭС-2 с реакторами ВВЭР-ТОИ. ....	104
<b>Шаймарданов А.Р.</b> Борное регулирование водо-водяных реакторов. ....	107
<b>Шайхутдинов Н.А.</b> Замкнутый ядерный топливный цикл. ....	110



<b>Шомахмадов И.Б.</b> Перспективы развития реакторов с теплоносителем из жидких металлов. . . . .	112
<b>Шубенков Е.В.</b> Причины и сложности вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов. . . . .	115
<b>Ямалов Б.Р.</b> Изготовление таблеток диоксида урана, материалы оболочек ТВЭЛОВ, конструкция ТВЭЛОВ. . . . .	118
<b>Яркова В.А.</b> Перспективы развития плавучих атомных теплоэлектростанций в России. . . . .	120
<b>Ярошевич Я.Э.</b> Опреснение морской воды с помощью ядерной энергетики. . . . .	123

**СЕКЦИЯ 2. Промышленная теплоэнергетика.  
Эксплуатация и надежность энергоустановок и  
систем теплоснабжения**

<b>Абдуллин Т.Р.</b> Целесообразность использования теплоизоляции на основе аэрогелевых композитов на объектах энергетики . . . . .	127
<b>Александров Р.Н.</b> Моделирование потока жидкости в программном комплексе Ansys. . . . .	130
<b>Анпилогов Л.Д.</b> Перспективные теплоизоляционные материалы тепловых сетей. . . . .	132
<b>Анцупов Н.А.</b> Влияние солнечной энергетики на окружающую среду. . . . .	136
<b>Гаврилин В.В., Гаврилов А.С.</b> Преимущества автоматических установок поддержания давления перед мембранными расширительными баками . . . . .	139
<b>Галимова А.Р.</b> Численное моделирование дефекта резьбового соединения стеклопластикового трубопровода. . . . .	142
<b>Гафиатуллина К.Р., Крайков М.Д., Федюхин А.В.</b> Методика расчета комбинированного коэффициента ускорения старения при воздействии УФ-излучения, температуры и влажности на теплоизоляционные материалы . . . . .	145
<b>Гафиатуллина К.Р., Крайков М.Д., Федюхин А.В.</b> Расчет эквивалентной длительности старения теплоизоляционных материалов для климатических условий города Казани. . . . .	148
<b>Гаязова З.И., Усанова Е.А.</b> Модель трубопровода для поиска течей методом конечных элементов . . . . .	151
<b>Глухова П.Е., Колосов Г.В.</b> Теплоснабжение жилого массива от термального источника . . . . .	154

<b>Кабатьева А.Ю.</b> Биогазовые технологии для выработки электроэнергии . . . . .	157
<b>Кабатьева А.Ю.</b> Влияние состава сырья на производство биогаза. . . . .	161
<b>Кабатьева А.Ю.</b> Конструктивные особенности метаноуловителей биогазовой установки . . . . .	164
<b>Кашин В.Г.</b> Оптимизация работы парогазовой установки Казанской ТЭЦ-2 . . . . .	167
<b>Клюкин И.И.</b> Влияние турбулентного потока в шероховатых трубах на изменение падение давления. . . . .	170
<b>Коньжов К.В.</b> Применение тепловых насосов . . . . .	173
<b>Крайков М.Д., Гафиатуллина К.Р.</b> Лабораторный стенд для исследования теплопередачи через многослойную теплоизоляцию. . . . .	176
<b>Кузнецов И.В.</b> Реконструкция отопительных котельных в мини-ТЭЦ на базе газотурбинных установок. . . . .	179
<b>Новоселова М.С.</b> Мини-ТЭЦ на основе газотурбинной установки НК-16-18 СТ . . . . .	182
<b>Садретдинов И.И.</b> Способ снижения тепловпотерь на ТЭС и АЭС с помощью использования вакуумной изоляции . . . . .	185
<b>Сорокин К.С., Гаврилов А.С.</b> Анализ и сравнение систем поддержания давления . . . . .	188
<b>Сулейманов Э.В.</b> Разработка тепловой схемы парогазовой установки с глубокой утилизацией теплоты уходящих газов. . . . .	191
<b>Тимершин А.Р.</b> Способы повышения эффективности аккумуляторов тепла на фазовом переходе . . . . .	194
<b>Усанова Е.А., Гаязова З.И.</b> Анализ модели утечки в трубопроводе с помощью программного обеспечения Ansys . . . . .	197
<b>Ушакова С.Р.</b> Оптимизация промышленной вентиляции: новые подходы и решения. . . . .	200
<b>Фартушин В.Ю.</b> Перевод тепловых нагрузок локальной котельной на Сакмарскую ТЭЦ. . . . .	203
<b>Фаттахов А.Ф.</b> Частотно-регулируемый привод в насосных станциях ЦТП коммунальной сферы. . . . .	206
<b>Чанчина В.Е.</b> О влиянии кальциевых внутренних отложений на собственные колебания стального трубопровода . . . . .	209
<b>Шангараев Д.И.</b> Звуковое давление в трубопроводах . . . . .	212
<b>Шарафиев Д.Е., Тимершин А.Р.</b> Установка для изучения теплоаккумулирующих свойств веществ с фазовым переходом. . . . .	214

### СЕКЦИЯ 3. Энергообеспечение, энергоресурсосбережение и строительство

<b>Бикеев Т.В.</b> Применение тепловой энергии грунтового основания для отопления и кондиционирования зданий . . . . .	217
<b>Базин Д.А, Гарипова А.М.</b> Использование искусственного интеллекта для улучшения работы энергомашины. . . . .	219
<b>Иванов Д.В.</b> Расчет биогазовой установки для сельскохозяйственного производства . . . . .	222
<b>Калимуллин А.И.</b> Способы вычислений нелинейной деформационной модели для расчета монолитных перекрытий с предварительно напряженной арматурой. . . . .	226
<b>Козлов Т.А.</b> Влияние выступа на эффективность всасывания местного отсоса. . . . .	229
<b>Маслов К.М.</b> Методы охлаждения воздуха водой и способы повышения эффективности данного процесса. . . . .	231
<b>Мустафина Г.Р.</b> Конструкции железобетонных резервуаров. .	235
<b>Мустафина Г.Р.</b> Конструкции цилиндрических резервуаров. .	238
<b>Мустафина Г.Р.</b> Конструкции узлов соединений несущих элементов в резервуаре. . . . .	241
<b>Напойкина А.В.</b> Проектирование систем теплоснабжения с тепловым насосом для индивидуального жилого дома. . . . .	244
<b>Хнычева Н.В.</b> Прочность монолитных железобетонных стен гражданских зданий. . . . .	247
<b>Хорькова С.А.</b> Модернизация турбоустановок типа «р» с целью их перевода с противодавления на работу по теплофикационному графику. . . . .	252

### СЕКЦИЯ 4. Энергетическое машиностроение

<b>Александров Д.Р., Гималов В.А.</b> Анализ влияния гироскопического эффекта и угловой инерционности диска на критические частоты колебаний одномассового ротора турбин. . . . .	255
<b>Бабичевский Л.В.</b> Изучение влияния видов топлива на основные параметры ГТУ. . . . .	258
<b>Бикбова З.М.</b> Расчёт параметров подшипников разных конструктивных исполнений для анализа предпочтительного выбора в турбомашине с длительным ресурсом. . . . .	261
<b>Борин К.С., Клейн Е.В.</b> Типы солнечных электростанций и область их применения. . . . .	264

<b>Воробьев Т.В., Клейн Е.В.</b> Котельные установки на древесных отходах.....	267
<b>Галиулина А.Р.</b> Оценка надёжности и запаса по длительной прочности диафрагмы паровых турбин.....	270
<b>Гарфетдинова К.Р., Базин Д.А.</b> Обзор тиристорных регуляторов в котлах-утилизаторах.....	273
<b>Гильмутдинова Р.И.</b> Загрязнение от тепловых электростанций: пути снижения выбросов.....	276
<b>Гладышева Ю.А., Базин Д.А.</b> Оптимизация конструкции современных электрических машин.....	279
<b>Година П.В.</b> Способы очистки водо-водяных теплообменных аппаратов.....	283
<b>Гурова М.В., Клейн Е.В.</b> Воздействие ветровых электростанций на окружающую среду.....	286
<b>Зиятдинов Д.Д.</b> Присадки к охлаждающим жидкостям.....	289
<b>Иванов Г.Е., Базин Д.А.</b> Обзор комбинирования возобновляемых источников энергии с ПГУ.....	292
<b>Иванова А.Р.</b> Современные комплексные воздухоочистительные устройства энергетических газотурбинных установок.....	296
<b>Клейн Е.В.</b> Расчёт и оптимизация газогенератора: ключевые аспекты и методы.....	299
<b>Михайлов А.С.</b> Экспериментальное исследование характеристик ступени малоразмерного центробежного компрессора	301
<b>Муругов Д.А.</b> Использование турбодетандера в добыче природного газа.....	304
<b>Муругов Д.А.</b> Перспективы комбинированных электрических станций в России.....	307
<b>Набиуллина М.Ф.</b> Подготовка отходов сельскохозяйственного производства к сжиганию в котлах.....	310
<b>Наумова А.А.</b> Эксплуатация и вывод в ремонт газотурбинных установок.....	313
<b>Сафина Л.З., Маслов И.Н.</b> Оценка методов повышения экономической эффективности процессов электронно-лучевой сварки, обеспечивающих высокое качество конструкций из сталей и сплавов.....	316
<b>Сунгатуллин К.И.</b> Применение смеси биогаза и водорода в качестве топлива для парового котла.....	319
<b>Ханго О.</b> Использование биомассы в энергетическом секторе	322

Республики Намибия.....	
<b>Хафизов Б.Р., Клейн Е.В.</b> Опыт использования волновых электростанций.....	325
<b>Хафизова М.М., Марьин Г.Е.</b> Сокращение расходов на применение методов электроимпульсной обработки, как способа снятия остаточных сварочных напряжений конструкций из сталей и сплавов.....	328
<b>Хисамутдинов М.Р., Клейн Е.В.</b> Использование водорода на тепловой электростанции.....	330
<b>Шилкин Д.В.</b> Влияние конструкции компрессора высокого давления на его шумовые характеристики.....	333

## **СЕКЦИЯ 5. Автоматизация технологических процессов и производств**

<b>Богданов А.В.</b> Анализ внутреннего устройства программируемого логического контроллера на примере ОВЕН ПЛК100.....	336
<b>Богданов А.В.</b> Анализ развития программируемых логических контроллеров за последние 50 лет .....	339
<b>Валеев А.И.</b> Автоматизированная гелиосистема для энергообеспечения частного жилища .....	342
<b>Газизуллин И.М.</b> Основные параметры машин для литья под давлением .....	345
<b>Гайнцев К.А.</b> Автоматизации современных водооборотных систем с градирнями .....	347
<b>Гатауллин Р.Р.</b> Актуальные проблемы автоматизации водоснабжения в России .....	350
<b>Абзалов Д.Б., Горбов В.Ю.</b> Сравнительный анализ системы вентиляции и дымоудаления .....	353
<b>Идрисова Г.Ф.</b> Система управления и поддержания оптимальных микроклиматических условий в парильном помещении бани .....	355
<b>Кинзябулатов А.Р.</b> Системы управления и контроля автотранспорта .....	359
<b>Муратова А.М.</b> Настройка передачи данных по протоколу Modbus RTU в CODESYS 3.5 в АСУ .....	362
<b>Пирогова А.М.</b> Цифровая трансформация в топливно-энергетическом комплексе: вызовы и возможности .....	365
<b>Фаизов Н.Н.</b> Проектирование системы автоматизации .....	370

противопожарного водопровода на оборонном предприятии с использованием отечественного оборудования .....	
<b>Хабиров Т.А.</b> Роботизированная платформа для решения бытовых и коммунальных проблем .....	373
<b>Чучалов А.А.</b> Анализ методов подбора оборудования автоматизированных систем управления .....	376
<b>Шайхезадин Д.И.</b> Разработка электронной системы аккумулятора для ручного электроинструмента .....	379
<b>Шаронов Н.С.</b> Сравнительный анализ материала для 3d-печати колёс самодельного робота.....	382
<b>Эйтерник А.Ю.</b> Автоматическое регулирование подачи избыточных вод исходя из уровня воды для оптимизации работы дренажной насосной станции очистных сооружений г. Йошкар-Ола	385

## СЕКЦИЯ 6. Теплофизика

<b>Абдуллина А.А., Тахавиев Т.М.</b> Численное исследование сепарационного устройства с дугообразными элементами.....	389
<b>Бадретдинова Г.Р.</b> Конденсация парогазовой смеси с твердыми частицами на поверхности кольцевого круглого прямого ребра постоянной толщины.....	392
<b>Залаев А.Э.</b> Анализ эффективности аппарата для получения силикагеля с уменьшенным размером отверстий для сепарации.....	395
<b>Полтев И.Е.</b> Влияние специфических и универсальных межмолекулярных взаимодействий на спектральные параметры соединений мышьяка.....	397
<b>Сидоров М.П.</b> Проблемы нагрева мазута на крупных энергетических объектах.....	400
<b>Мугинов А. М.</b> Влияние расстояния от пластины до начала вертикальных проточек мультивихревого классификатора на эффективность улавливания частиц.....	403
<b>Мугинов А. М.</b> Влияние размера отверстий в пластине мультивихревого классификатора на эффективность улавливания частиц.....	406
<b>Мугинов А. М.</b> Влияние размера вертикальных проточек мультивихревого классификатора на эффективность улавливания частиц.....	409
<b>Якунькин М.И.</b> Влияние ионизирующего излучения на конструкционные материалы.....	412

## СЕКЦИЯ 7. Экологические проблемы водных биоресурсов

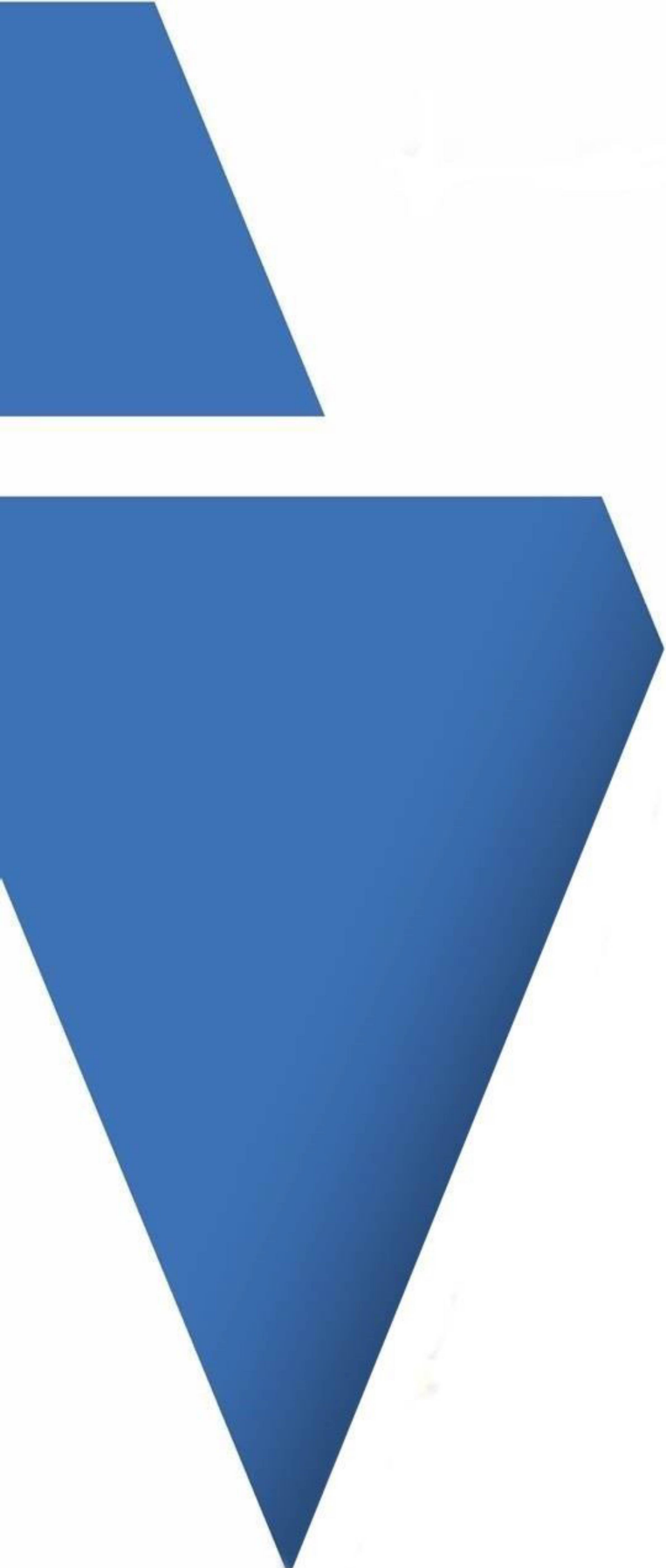
<b>Васильева Е.А., Хамитова М.Ф.</b> Сорепода в составе биоценоза биофильтра рыбоводной установки на кафедре ВБА.....	416
<b>Жаров Д.Н., Гордеева М.Э.</b> Важность рыбы в рационе питания спортсменов-хоккеистов.....	419
<b>Ибрагимова Г.Д., Хамитова М.Ф.</b> Исследование биоценоза биофильтра малой УЗВ кафедры водные биоресурсы и аквакультуры на разных глубинах.....	422
<b>Калайда М.Л., Караганова О.Ю.</b> Анализ содержания опасных элементов в судаке Куйбышевского водохранилища в районе Рыбной Слободы.....	425
<b>Кашина К.А., Гордеева М.Э., Хамитова М.Ф.</b> Исследование гидрохимических и гидробиологических характеристик биологического фильтра малой рыбоводной установки.....	428
<b>Медведева А.С., Борисова С.Д.</b> Исследование выращивания алоэ ( <i>aloe arborescens mill.</i> ) в аквапонике.....	431
<b>Миниханова А.Р.</b> Получение гранулята путем утилизации илового осадка.....	434
<b>Муратова К.Л., Закирова Л.Р., Гордеева М.Э.</b> Исследования физико-химических показателей растворов хлореллы разной плотности.....	437
<b>Нассер М.Г., Говоркова Л.К.</b> Микробиологические показатели оценки качества воды при искусственном выращивании рыб.....	440
<b>Пенкин Д.В., Калайда М.Л.</b> Кислородный режим водоема комплексного назначения на р.Нысе у с.Абди по материалам 2022 г. ....	442
<b>Рахматуллина Д.А., Хамитова М.Ф.</b> Физико-химические показатели воды в биофильтрах малых рыбоводных установок кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура» ФГБОУ ВО «КГЭУ».....	446
<b>Саетов А.Р., Калайда М.Л.</b> Физико-химические параметры среды в районе функционирования рыбозащитного сооружения типа водовоздушной завесы в водоеме-охладителе ГРЭС.....	449
<b>Сиразиева Д.Е., Абрамова С.М., Гордеева М.Э.</b>	453

Исследование физико-химических показателей дождевой воды урбанизированной территории . . . . .	
<b>Степанова В.П., Борисова С.Д.</b> Исследование особенностей выращивания комнатного растения рода спатифиллум в аквапонике	456
<b>Удачин С.А., Калайда М.Л.</b> Головешка-ротан ( <i>perccottus glenii dybowski, 1877</i> ) как объект аквакультуры . . . . .	459
<b>Хайруллина Э.И.</b> Кластер как перспективная основа развития рыбохозяйственной отрасли Республики Татарстан . . . . .	462
<b>Чернова А.Е., Говоркова Л.К.</b> Микробиологические показатели санитарного состояния водного сообщества в замкнутых системах водообеспечения с аквапонической установкой . . . . .	466
<b>Шарафутдинов Р.Г., Калайда М.Л.</b> Формирование рыболовных участков куйбышевского водохранилища . . . . .	469
<b>Шатруков И.А., Гиниятуллина А.Р.</b> Экологические проблемы предприятий аквакультуры. . . . .	472

## СЕКЦИЯ 8. Перспективные материалы

<b>Ваганов М.С.</b> Разработка технологии нанесения светоотражающих покрытий. . . . .	476
<b>Ваганов М.С.</b> Компьютерное моделирование структуры и свойств композиционных материалов, используемых в конструкциях под нагрузкой. . . . .	479
<b>Ганиев И.Р.</b> Структура и синтез нанопористых аэрогелей. . . . .	482
<b>Давлетбаева А.Р., Сазонов О.О., Закиров И.Н.</b> Исследование ассоциатов третичных аминов с полиоксипропиленгликолем . . . . .	485
<b>Котомкина Д.О.</b> Наномодифицирование в материаловедении	487
<b>Марданов Н.И., Ваганов М.С.</b> Химические основы выбора технологических операций. . . . .	489
<b>Мионов Н.В., Перинский В.В.</b> Свойства поверхности пористого кремния формированной аддитивной имплантацией ионов водорода и серебра . . . . .	493
<b>Платонов Н.Д., Лебедев А.А.</b> Исследование подвижности основных носителей заряда и ширины запрещенной зоны в слоях GAAS/IN <sub>0.01</sub> GAAS в зависимости от уровня легирования SI. . . . .	496
<b>Яппаров Т.Р.</b> Кремнеземисто-карбонатные композиции – основа стекло, керамических материалов и нанокompозитов. . . . .	499





ISBN 978-5-89873-652-1



9 785898 736521 >